Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.01 ФИЛОСОФИЯ

Направление подготовки

15.03.01 Машиностроение

Профиль:
Производство и реновация машин и оборудования

формы обучения: **очная, заочная**

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Философии и культурологии	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Беляев В.П.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0261A6BD005DAC979B410F3EA731403511
Владелец: Упоров Сергей Александрович
Действителен: с 23.10.2020 до 23.01.2022

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	5
2	Методические рекомендации по подготовке к опросу	8
3	Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	9
4	Методические рекомендации по написанию эссе	11
5	Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям	14
6	Методические рекомендации по подготовке к дискуссии	15
7	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	17
	Заключение	20
	Список использованных источников	21

ВВЕДЕНИЕ

Инициативная самостоятельная работа студента есть неотъемлемая составная часть учебы в вузе. В современном формате высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студента. Правильно спланированная и организованная самостоятельная работа обеспечивает достижение высоких результатов в учебе.

Самостоятельная работа студента (СРС) - это планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью СРС является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности. Ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней. Самостоятельная работа студента – важнейшая составная часть учебного процесса, обязательная для каждого студента, объем которой определяется учебным планом. Методологическую основу СРС составляет деятельностный подход, при котором цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, т. е. на реальные ситуации, в которых студентам надо проявить знание конкретной дисциплины. Предметно и содержательно СРС определяется государственным образовательным стандартом, действующими учебными планами и образовательными программами различных форм обучения, рабочими программами учебных дисциплин, средствами обеспечения СРС: учебниками, учебными пособиями и методическими руководствами, учебно-программными комплексами и т.д.

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа студента - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение информации и ее логическая переработка;

- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнение курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения. Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Подготовка к самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

.

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента, и помогает усвоить учебный материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен *умением слушать*, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

Такая работа нередко вызывает трудности у студентов: некоторые стремятся записывать все дословно, другие пишут отрывочно, хаотично. Чтобы избежать этих ошибок, целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно попытаться проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Это может быть стиль учебной программы (назывные предложения), уместны и свои краткие пояснения к записям.

Студентам не следует подробно записывать на лекции «все подряд», но обязательно фиксировать то, что преподаватели диктуют – это базовый конспект, содержащий основные положения лекции: определения, выводы, параметры, критерии, аксиомы, постулаты, парадигмы, концепции, ситуации, а также мысли-маяки (ими часто являются афоризмы, цитаты, остроумные изречения). Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами. Каждому студенту полезно выработать свою систему сокращений, в которой он мог бы разобраться легко и безошибочно.

Даже отлично записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и

рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Главное - вести конспект аккуратно и регулярно, только в этом случае он сможет стать подспорьем в изучении дисциплины.

Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

По своим задачам лекции могут быть разных жанров: *установочная лекция* вводит в изучение курса, предмета, проблем (что и как изучать), а *обобщающая лекция* позволяет подвести итог (зачем изучать), выделить главное, усвоить законы развития знания, преемственности, новаторства, чтобы применить обобщенный позитивный опыт к решению современных практических задач. Обобщающая лекция ориентирует в истории и современном состоянии научной проблемы.

В процессе освоения материалов обобщающих лекций студенты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания *репродуктивного* уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания *продуктивного* уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания *творческого* уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента. При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [1].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[2].

---

[1] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. Объем временина на подготовку к устному опросу зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет учащемуся приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме занятия;

- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;

- материалы, которыми пользуется студент при подготовке доклада-презентации, должны тсоответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе;

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким студентам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Студенты могут подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение.

Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;

- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки) Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом).

Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	*Количество баллов*
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов; • всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста; • размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовок), 18–36 пунктов (обычный текст); • текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок; • все слайды должны быть выдержаны в одном стиле; • на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций; • слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов

4. Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Писать эссе чрезвычайно полезно, поскольку это позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включать самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д.

Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

Структура эссе

1. *Титульный лист* (заполняется по единой форме);

2. *Введение* - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно *сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.*

3. *Основная часть* - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

Хорошо проверенный (и для большинства — совершено необходимый) способ построения любого эссе - использование подзаголовков для обозначения ключевых моментов аргументированного изложения: это помогает посмотреть на то, что предполагается сделать (и ответить на вопрос, хорош ли замысел). Такой подход поможет следовать точно определенной цели в данном исследовании. Эффективное использование подзаголовков - не только обозначение основных пунктов, которые необходимо осветить.

Их последовательность может также свидетельствовать о наличии или отсутствии логичности в освещении темы.

4. *Заключение* - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему: аргументация или доказательство должны основываться на данных науки и общественно-исторической практики, убеждения же могут быть основаны на предрассудках, неосведомленности людей в вопросах экономики и политики, видимости доказательности. Другими словами, доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. *Аргументы* - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. *Вывод* - это мнение, основанное на анализе фактов. *Оценочные суждения* - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. *Аргументы* обычно делятся на следующие группы:

1. *Удостоверенные факты* — фактический материал (или статистические данные).
2. *Определения* в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. *Законы* науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники (особенно качество чтения). Все (фактические) данные соотносятся с конкретным временем и местом, поэтому прежде, чем их использовать, необходимо убедится в том, что они соответствуют необходимому для исследований времени и месту. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы (если вы так полагаете, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением).

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Нельзя забывать также, что данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе?

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).

2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).

3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

*Источники***.** Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочитать написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определятся жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой *дискуссию* в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие подведением итогоа обсуждения, заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия, демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Готовясь к конкретной теме занятия следует ознакомиться с новыми официальными документами, статьями в периодических журналах, вновь вышедшими монографиями.

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает *семинар-дискуссия,* где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста.

Дискуссия (от лат. discussio - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как *метод интерактивного обучения* и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление студента обусловливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Безусловно, наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,

- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;

- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;

- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;

- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка студентов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

Этап 1-й, введение в дискуссию: формулирование проблемы и целей дискуссии;

определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

Этап 2-й, обсуждение проблемы: обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

Этап 3-й, подведение итогов обсуждения: выработка студентами согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения студентов по актуальным и проблемным вопросам.

7. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь

на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На

консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальный сон, иначе в день экзамена не будет чувства бодрости и уверенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

2. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

3. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Е.В. АНДРЕЕВА,
С.М. АБРАМОВ

ИСТОРИЯ

Учебно - методическое пособие
по дисциплине «История»
для студентов направления бакалавриата
очного и заочного обучения
по специальности «управление персоналом»

Екатеринбург
2019

Рецензент: Беляев В.П., начальник Управления международной деятельности, канд. филос. наук, доцент кафедры философии и культурологии УГГУ

Андреева Е.В, Абрамов С.М.
ИСТОРИЯ: методическое пособие по дисциплине «История России» для студентов направления бакалавриата очного и заочного обучения по специальности «управление персоналом» / Е.В. Андреева, С.М. Абрамов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – с.

Учебно-методическое пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «История России». Оно включает в себя развернутую программу курса, планы семинарских занятий, темы контрольных работ, варианты тестов и кейс-заданий для проверки знаний студентов, методические рекомендации по написанию реферата, вопросы для самоподготовки и подготовки к экзамену, информационно-методическое обеспечение дисциплины.

Андреева Е.В.,
Абрамов С.М.
.Уральский государственный
горный университет, 2019

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

1. **Учебно-методический комплекс дисциплины «История»** составлен в соответствии с требованиями **Федерального государственного образовательного стандарта** (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) высшего профессионального образования к освоению основных образовательных программ

2. Требования к уровню подготовки студентов

Для успешного освоения дисциплины студенты должны обладать следующими *общекультурными* компетенциями:

✓способностью владеть культурой мышления, целостной системой научных знаний об окружающем мире, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры (ОК-1);

✓готовностью использовать базовые положения гуманитарных наук при решении социальных и профессиональных задач (ОК-2);

✓ способностью к анализу социально значимых процессов и явлений, к ответственному участию в общественно-политической жизни (ОК-5);

✓готовностью к восприятию культуры и обычаев других стран и народов, с терпимостью относиться к национальным, расовым, конфессиональным различиям, способностью к межкультурным коммуникациям (ОК-7).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В ходе изучения дисциплины студенты осваивают следующие *общекультурные* компетенции:

- обладают знанием базовых ценностей мировой культуры и готовы опираться на них в своем личном и общекультурном развитии (ОК-2);
- обладают способностью понимать и анализировать мировоззренческие, социально и личностно значимые философские проблемы (ОК-3);
- умеют анализировать и оценивать исторические события и процессы в их динамике и взаимосвязи (ОК-4);
- обладают способностью к социальному взаимодействию на основе принятых моральных и правовых норм, социальных стандартов; демонстрировать уважение к людям, толерантность к другой культуре, готовность к поддержанию партнерских отношений (ОК-8).

В результате освоения компетенций студенты:

знают

- основные факты, явления, процессы, понятия, теории, гипотезы, характеризующие целостность исторического процесса;

- периодизацию отечественной истории (основные закономерности и этапы исторического развития общества);

- особенности процессов социально-экономического, административно-политического и духовного развития Российского государства;

- современные версии и трактовки важнейших проблем отечественной и всемирной истории;

- историческую обусловленность формирования и эволюции общественных институтов, систем социального взаимодействия, норм и мотивов человеческого поведения;

- взаимосвязь и особенности истории России и мира; всемирной, региональной, национальной и локальной истории;

- методы исторического анализа (теоретические основы в области источниковедения и историографии для объективной оценки достижений выдающихся деятелей отечественной и всеобщей истории);

- роль России в мировом сообществе;

умеют

- пользоваться источниками информации (проводить комплексный поиск исторической информации в источниках разного типа; критически анализировать источник исторической информации (характеризовать авторство источника, время, обстоятельства и цели его создания);

- анализировать историческую информацию, представленную в разных знаковых системах (текст, карта, таблица, схема, аудиовизуальный ряд);

- различать в исторической информации факты и мнения, описания и объяснения, гипотезы и теории;

- устанавливать причинно-следственные связи между явлениями, пространственные и временные рамки изучаемых исторических процессов и явлений;

- систематизировать разнообразную историческую информацию на основе своих представлений об общих закономерностях всемирно-исторического процесса;

- формировать собственный алгоритм решения историко-познавательных задач, включая формулирование проблемы и целей своей работы, определение адекватных историческому предмету способов и методов решения задачи, прогнозирование ожидаемого результата и сопоставление его с собственными историческими знаниями;

- участвовать в групповой исследовательской работе, определять ключевые моменты дискуссии, формулировать собственную позицию по обсуждаемым вопросам, использовать для ее аргументации исторические сведения, учитывать различные мнения и интегрировать идеи, организовывать работу группы;

- представлять результаты индивидуальной и групповой историко-познавательной деятельности в формах конспекта, реферата, исторического сочинения, резюме, рецензии, исследовательского проекта, публичной презентации;

владеют

- методами сбора, обработки и анализа информации (могут использовать при поиске и систематизации исторической информации методы электронной обработки, отображения информации в различных знаковых

системах (текст, карта, таблица, схема, аудиовизуальный ряд) и перевода информации из одной знаковой системы в другую);

- навыками исторического анализа при критическом восприятии получаемой извне социальной информации;

- собственной позицией по отношению к явлениям современной жизни, исходя из их исторической обусловленности;

- навыками участия в дискуссиях по историческим проблемам, могут формулировать собственную позицию по обсуждаемым вопросам, используя для аргументации исторические сведения;

- нормами взаимодействия и сотрудничества; толерантностью, социальной мобильностью, осознают себя как представителей исторически сложившегося гражданского, этнокультурного, конфессионального сообщества, граждан России.

3. Технологии обучения

В преподавании используются методы активного обучения (работа в малых группах, тестирование), IT-технологии (лекции-визуализации), а также проблемное обучение (лекции-дискуссии).

5. Учебные материалы и методические разработки

Для реализации методов активного обучения используются: аналитические задания, сценарии дискуссий, тестовые задания, презентации.

6. Контрольно-измерительные материалы

В качестве оценочных средств используются: рефераты, доклады, презентации; тесты (открытые, закрытые, на сопоставление), контрольные работы.

Рекомендуемое количество часов на освоение программы учебной дисциплины:

максимальной учебной нагрузки обучающегося 164 часа, в том числе:

обязательной аудиторной нагрузки обучающегося 114 часов;

самостоятельной работы обучающегося 50 часов.

II. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПО МОДУЛЯМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДАМ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Учебно-тематический план занятий студентов очной формы обучения

Таблица 1:

№ п/п	Учебный модуль дисциплины	Всего часов (акад.)	Аудиторная работа (в акад. час.)		Самостоятельная работа (в акад. часах)
			Лекции	Семинары	
1.	Введение в курс «История России»	6	1	1	4
2.	История России с древнейших времен по XIX в.	24	7	3	14
3.	История России в начале XX в.	21	8	3	10
4.	История России во второй половине XX в.	21	8	3	10
	ИТОГО:	72	24	10	38

Учебно-тематический план занятий студентов заочной формы обучения

Таблица 2:

№ п/п	Учебный модуль дисциплины	Всего часов (акад.)	Аудиторная работа (в акад. час.)		Самостоятельная работа (в акад. часах)
			Лекции	Семинары	
	Введение			-	
	История России с древнейших времен по XIX в.				
	История России в начале XX в.				
	История России во второй половине XX в.				
	ИТОГО:	72	6	4	62

III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Модуль, тема дисциплины	Содержание тем в дидактических единицах
Модуль 1. Введение в курс «История»		
1.	Тема 1.1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории	История как комплекс наук, ее основные разделы. **Сущность, формы, функции исторического знания**. Концепции исторического процесса: цивилизационный, модернизационный, формационный, либеральный пути развития. **Понятие и классификация исторического источника**. **Методы и источники изучения истории**. Вспомогательные исторические дисциплины. **Отечественная историография в прошлом и настоящем: общее и особенное**. **Методология и теория исторической науки**. **История России – неотъемлемая часть всемирной истории**. Факторы своеобразия российской истории: природно-климатический, геополитический, этно-конфессиональный, социокультурный.
Модуль 2. История России с древнейших времен по XIX в.		
2.	Тема 2.1. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян	Праславянские племена и индоевропейцы. Аркаим. Древние народы на территории нашей страны. **Античное наследие в эпоху Великого переселения народов. Проблема этногенеза восточных славян**. Миграционные и автохтонная теории происхождения славян. Влияние античности на славянскую общность. Венеды, анты, склавины. Складывание славяно-русского этноса. Предпосылки создания Древнерусского государства. **Основные этапы становления государственности**. Варяги и Рюрик. Норманнская и антинорманнская теории. Проблема происхождения названия «Русь». Признаки государственности в среднем Поднепровье и в северном регионе в середине IX в. Объединение Киева и Новгорода под властью Олега. **Особенности социального строя Древней Руси. Византийско-древнерусские связи**. **Древняя Русь и кочевники**.

3.	Тема 2.2. Киевская Русь	**Этнокультурные и социально-политические процессы становления русской государственности**. Первое древнерусское государство – Киевская Русь. Внутренняя политика первых киевских князей. Русь и Хазарский каганат. Формирование системы государственного управления. Полюдье. Княгиня Ольга. Святослав и его походы. Владимир I. **Причины и последствия христианизации Руси. Распространение ислама.** Борьба за власть сыновей Владимира Святославича. Ярослав Мудрый. Любечский съезд князей. Владимир Мономах. Социальная структура Древнерусского государства. «Русская Правда». Проблема феодализма и феодальных отношений применительно к Киевской Руси. **Эволюция восточнославянской государственности в XI-XII вв.** Культура Киевской Руси.
4.	Тема 2.3. Русь в эпоху феодальной раздробленности	**Социально-политические изменения в русских землях в XIII-XV вв**. Предпосылки распада Киевской Руси и начала феодальной раздробленности. Основные феодальные центры. Новгородская боярская республика: географическое положение, хозяйство, государственное устройство. Владимиро-Суздальская Русь: географическое положение, хозяйство, причины формирования неограниченной власти владимирских князей. Юрий Долгорукий, Андрей Боголюбский, Всеволод Большое Гнездо. Галицко-Волынская земля: географическое положение, экономическое развитие, особенности политической жизни. Роман Мстиславич, Даниил Романович. Киевская земля в период феодальной раздробленности. Культура русских земель в период XII – начала XIII вв. Последствия раздробленности.
5.	Тема 2.4. Борьба русских земель с внешними вторжениями в XIII в.	Монголо-татарское нашествие. Держава Чингисхана. Завоевательные походы монголов. Битва на р. Калке. Нашествие Батыя на Русь. Проблемы сущности и характера «монголо-татарского ига**». Золотая Орда и русские княжества: проблемы взаимовлияния**. Последствия монголо-татарского нашествия. **Россия и средневековые государства Европы и Азии**. Борьба с агрессией немецких и шведских феодалов. Причины вторжения на Русь немецких рыцарей. Оборона северо-западных рубежей русских земель. Невская битва. Александр Невский как военачальник и государственный деятель. Ледовое побоище. Последствия борьбы с немецкой и шведской агрессией.
6.	Тема 2.5. Складывание Московского государства в XIV - XVI в.	Экономическое, социальное и политическое развитие русских земель на рубеже XIII – XIV вв. **Специфика формирования единого российского государства.** Обособление Северо-Восточной Руси. Предпосылки объединения русских земель. Выделение трех центров формирования возможной государственности: Московского, Тверского и Великого княжества

		Литовского. **Причины и условия возвышения Москвы.** Иван Калита и его сыновья. Дмитрий Иванович Донской. Куликовская битва и ее историческое значение (1380 г.). Роль церкви в борьбе с монголо-татарским игом. Сергий Радонежский. Рост национального самосознания. Феодальная война в Московском княжестве. Завершение объединения русских земель (XV – нач. XVI в.). Правление Ивана III. Свержение монголо-татарского ига. Стояние на р. Угре (1480 г.). Присоединение Ярославля, Твери, Новгорода и других территорий к Московскому государству. Социальные процессы в Московском государстве. Начало оформления крепостного права. Формирование идеологии самодержавия «Москва – третий Рим». Государство и церковь в конце XV – нач. XVI в. Дискуссии между иосифлянами и нестяжателями. Иван IV, его оценки в исторической литературе. Социальная и политическая борьба в XVI в. Начало деятельности Земских соборов. Период внутренних преобразований в эпоху Избранной рады. Внешнеполитическая деятельность Ивана IV. Присоединение Казани и Астрахани. Ливонская война. Начало присоединения Сибири. Утверждение идеи неограниченной власти в общественном сознании. Опричнина. Дискуссии в исторической науке о причинах и сущности опричнины. Итоги деятельности Ивана Грозного. Царь Федор Иоаннович и его правление. Борис Годунов и его деятельность. Итоги развития Русского государства в XVI в.
7.	Тема 2.6. Русское государство в XVII в.	Смута. Власть и общество в смутное время. Крестьянское выступление И. Болотникова. Самозванчество: Лжедмитрий I и Лжедмитрий II. Царь Василий Шуйский. Польская и шведская интервенция. Формирование народных ополчений. Д.Пожарский и К.Минин. Земский собор 1613 г. и начало династии Романовых. Последствия Смутного времени: экономические и социальные процессы в русском государстве. Вотчинное хозяйство, развитие мелкотоварного производства и появление мануфактур. Политика государства в сфере экономики. **Эволюция форм собственности на землю**. **Структура феодального землевладения**. **Формирование сословной системы организации общества**. **Крепостное право в России**. Земский собор 1649 г., его значение. **Складывание русского абсолютизма, его особенности.** Реформы Алексея Михайловича и Федора Алексеевича. Государство и церковь. Патриарх Никон. Церковный раскол. Соляной и медный бунты. Крестьянская война под руководством С. Разина. Внешняя политика Московского государства в XVII в. Тенденции культурного развития в XVII в.
8.	Тема 2.7. Россия в XVIII	Предпосылки преобразований первой четверти XVIII в.

	в.	Северная война 1700-1721 гг. **Реформы Петра I**. Эпоха «дворцовых переворотов»: политические и социально-экономические процессы. Екатерина I и Меньшиков. Петр II. Анна Иоанновна. «Бироновщина». Елизавета Петровна. Петр III. Манифест о вольности дворянства. **Век Екатерины II**. Крестьянская война под руководством Е. Пугачева. 1773-1775 гг. Жалованная грамота дворянству и Жалованная грамота городам. Результаты деятельности Екатерины II. Русско – турецкие войны. Павел I: особенности внутриполитического курса. Причины его свержения. **Дискуссии о генезисе самодержавия.**
9.	Тема 2.8. Россия в перв. пол. XIX в.	Россия в первой четверти XIX в. **Особенности и основные этапы экономического развития России**. Александр I. Особенности либеральных реформ. Проекты М.М. Сперанского. Отечественная война 1812 г.: причины, ход событий, последствия. Заграничные походы русских войск. Декабристы: «Южное» и «Северное» общества. Проекты конституционных преобразований Н.М.Муравьева и П.И.Пестеля. Исторические последствия движения декабристов. Эпоха Николая I. Противоречивость внутренней политики. Консервативная модернизация. Укрепление полицейско-бюрократического аппарата. Начало промышленного переворота. **Общественная мысль и особенности общественного движения России XIX в**. Крымская война.
10.	Тема 2.9. Россия во втор. пол. XIX в.	Александр II. Подготовка крестьянской реформы. Сущность и последствия отмены крепостного права. Земская, судебная, городская, военная реформы и реформы в сфере просвещения и печати. Последствия преобразований. Идейно-политическая борьба в пореформенной России. «Земля и воля». Народовольцы. Убийство Александра II. Александр III и «эпоха контрреформ». Экономическое и социальное развитие в пореформенной России. **Становление индустриального общества в России: общее и особенное.** Появление марксизма в России: Г.В.Плеханов, В.И.Ленин. **Реформы и реформаторы в России**. **Русская культура XIX в. и ее вклад в мировую культуру**.
		М
11.	Тема 3.1. Россия в начале XX в.	**Роль XX столетия в мировой истории. Глобализация общественных процессов. Проблема экономического роста и модернизации. Революции и реформы. Столкновение тенденций интернационализма и национализма, интеграции и сепаратизма, демократии и авторитаризма.** **Россия в начале XX в**. **Объективная потребность в индустриальной модернизации России**. Экономическое и социальное развитие страны. Николай II. Деятельность С.Ю.Витте. **Политические партии**

		России: генезис, классификация, программы, тактика. Внешняя политика страны в начале XX в. Русско-японская война. Первая русская революция: причины, ход событий, последствия. Манифест 17 октября. Создание либеральных партий. Политические партии России: генезис, классификация, программы, тактика. Деятельность П.А.Столыпина. Аграрная реформа. Деятельность Государственной Думы. **Российские реформы в контексте общемирового р** **э**Международные противоречия в начале XX в. Причины **1**Первой мировой войны. **Россия в условиях мировой войны и общенационального кризиса**. Февральская **революция 1917 г**. Борьба за выбор путей развития **с**страны в марте – октябре 1917 г. Апрельский, июньский, **и**июльский кризисы Временного правительства. **К**Корниловский мятеж. Большевизация Советов. Октябрьская революция: дискуссии о причинах, **х**характере и последствиях. Судьба Учредительного собрания. **Гражданская война и интервенция, их результаты и последствия. Российская эмиграция**. **Н**Начало складывания советской государственности.
12.	Тема 3.2. Советское государство в 1920 – 1930-е гг.	Советское государство после окончания Гражданской войны: **социально-экономическое развитие страны в 1920-е гг. Новая экономическая политика**. **Образование СССР**. «Политическое завещание» В.И.Ленина и его судьба. Л.Д.Троцкий. И.В.Сталин. Хозяйственные, социальные и идеологические сдвиги в стране в 1920-е гг. Внутрипартийная борьба в 1920-е гг. Альтернативы развития страны. **Формирование однопартийного политического режима**. Сталинская модель модернизации страны - «Большой скачок» (1928-1939 гг.). **Социально-экономические преобразования в 1930-е гг.** Индустриализация страны. Первые пятилетки. Коллективизация сельского хозяйства. Административно-командные методы ее осуществления. **Культурная жизнь страны в 1920-е гг. Усиление режима личной власти И.В.Сталина**. **Курс на строительство социализма в одной стране и его последствия**. Складывание советского тоталитаризма. Репрессии. **Сопротивление сталинизму**. **Внешняя политика Советской России и СССР в 1920-1930-е гг**.
13.	Тема 3.3. СССР в годы Второй мировой войны	**СССР накануне и в начальный период Второй мировой войны**. Советско-германский пакт о ненападении. Внешняя политика СССР в условиях начавшейся войны**. Великая Отечественная война (1941-1945 гг.**). Дискуссии о причинах и характере войны. Боевые действия в июне 1941 – осенью 1942 гг. Битва за Москву. Оборона Ленинграда. Коренной перелом в ходе войны. Сталинград. Курская битва. Советский тыл в годы войны. Государство и общество. Завершение Великой Отечественной войны. Боевые

		действия в 1944-1945 гг. Разгром Германии. Разгром Японии. Окончание Второй мировой войны. Итоги и уроки войны.
	М	
14.	Тема 4.1. СССР в 1945-1964 гг.	**Социально-экономические последствия Великой Отечественной войны**. **Страна в послевоенный восстановительный период**. Начало «холодной войны». Смерть И.В.Сталина и борьба за власть в высшем партийно-государственном руководстве страны. Н.С.Хрущев. XX съезд КПСС, осуждение культа личности Сталина. Курс на построение коммунистического общества. Социально-экономическое развитие страны в конце 1950 - начале 1960-х гг. Противоречивость и непоследовательность политики Н.С.Хрущева. Духовное развитие советского общества. «Оттепель». **Внешняя политика в 1950-1960-х гг**. **Холодная война**.
15.	Тема 4.2. Советское общество в эпоху «застоя»	**Попытки осуществления политических и экономических реформ**. Поиски новых форм и методов управления. **НТР и ее влияние на ход общественного развития**. **СССР в 1960-80-е гг.: нарастание кризисных явлений**. Бюрократизация партийного и государственного аппарата. Л.И.Брежнев. Концепция «развитого социализма». Противоречивость духовной жизни общества. Диссидентское движение: А.Д.Сахаров, А.И.Солженицын. Приход к власти Ю.В.Андропова. «Мини-застой» К.У.Черненко. Внешняя политика в эпоху «разрядки» и начало новой конфронтации с Западом.
16.	Тема 4.3. СССР в сер. 1980-х – начале 1990-х гг.	**Советский Союз в 1985-1991 гг**. М.С.Горбачев: динамика политических взглядов и позиций. **«Перестройка»**: сущность и этапы. КПСС и реформы. Утверждение многопартийности. Политические партии и их лидеры. Размежевание общества на основе политических воззрений и идеалов. Обострение национальных противоречий. Духовная культура в новых условиях. «Новое политическое мышление». Кризис политики «перестройки». **Попытка государственного переворота 1991 г. и ее провал**. **Распад СССР**. **Беловежские соглашения**.
17.	Тема 4.4. Современная Россия	Начало радикальных социально-экономических преобразований. Б.Н.Ельцин. Либерализация цен и ее последствия. Приватизация государственной собственности. Рост социального расслоения в обществе. Поляризация политических сил. Противостояние законодательной и исполнительной власти в **октябре 1993 г.** Конституция РФ 1993 г. **Становление новой российской государственности (1993-1999 гг.)**. Россия и субъекты Федерации. Война в Чечне. Россия и мировое сообщество. Экономический кризис 1998 г. Уход Б.Н.Ельцина. Президентские выборы 2000 г. В.В.Путин. **Россия на пути**

		радикальной социально-экономической модернизации. **Культура в современной России. Внешнеполитическая деятельность в условиях новой геополитической ситуации**.

СОДЕРЖАНИЕ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Задачи семинарских занятий:

В ходе работы на занятиях студенты научатся практически применять приобретенные теоретические знания:

1) вести дискуссии по проблемным вопросам курса;
2) осознавать взаимосвязь прошлых и настоящих событий;
3) критически относиться к различным аспектам развития общества;
4) вырабатывать и формулировать собственную точку зрения по той или иной проблеме;
5) видеть и оценивать значимость экономического, политического, социального и культурного окружения, в котором осуществляется образование или работа;
6) аргументировать свои ответы на поставленные вопросы;
7) оценивать и формировать социальные привычки, связанные со здоровьем, потреблением, сохранностью окружающей среды.

Модуль 1. Введение в курс «История»

Тема 1.1. История как наука и учебная дисциплина

1. Место истории в системе наук. Специфика исторического знания.
2. Исторический источник.
3. Концепции (интерпретации) исторического процесса.
4. Всеобщая история и Отечественная история.
5. Историография отечественной истории.

Основные понятия:

История, этнос, менталитет, государство, цивилизация, формация, классы.

Вопросы:

1. Что означает понятие «история»? Для чего необходимо знать историю?
2. Какими основными источниками пользуются в познании истории? Каких русских историков вы знаете? Как они трактуют значение истории, выделяют ее периодизацию?
3. Какова периодизация истории России? Какие этапы всемирной истории совпадают с хронологическими рамками истории России?
4. Назовите факторы и особенности российского исторического процесса. В чем причины чрезмерной роли государства в истории России?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ осознают место и роль России в мировом сообществе;
- ✓ узнают периодизацию истории России;

- ✓ получат представление об особенностях российского исторического процесса.

Литература

Основная:

1. Кириллов В.В. учеб. пособие для бакалавров / В.В. Кириллов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 665 с. – Серия: Бакалавр. Базовый курс.
История России (IX – начало XXI вв.): учебник / С. Н. Полторак, А.Ю. Дворниченко, З.О. Джалиашвили и др.; под ред. А.Ю. Дворниченко, В.С. Измозика. – М.: Гардарики, 2005. – 479с. – С. 5-18.
. История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.I.- Глава 2-3. – С. 6-24.
Семенникова Л.И. Россия в мировом сообществе цивилизаций: учебник для студентов вузов неисторических специальностей / Л.И. Семенникова. – изд. 9-е. - М.: КДУ, 2008. – С. 15-49.

Дополнительная:

. Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, 2007. – 668с. – С. 3-9.
5. История России с древнейших времен до конца XVII в. Учебное пособие / Л.Н. Вдовина, Н.В. Козлова, Б.Н. Флоря; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2007. – 768с. - Глава 1. – С. 12-37.
6. Личман Б.В. Многоконцептуальная история России. Пособие для абитуриентов. – Екатеринбург: Из-во «СВ-96», 2000.- С.4-20.
7. Платонов С.Ф. Полный курс лекций по русской истории. - Ростов н/Д: Феникс, 2005. – С. 4-52.

Текущий контроль знаний:

Познавательная функция истории заключается в …

А) изучении и теоретическом обобщении исторических фактов и событий

Б) формирование нравственных и гражданских ценностей

В) формирование историзма мышления

Г) укрепление обороноспособности государства

Субъективистский подход к историческому процессу, отождествление истории России с историей самодержавия был характерен для …

А) Н.М. Карамзина

Б) В.О. Ключевского

В) А.А. Корнилова

Г) М.Н. Покровского

Историческая наука в СССР основывалась на _____ подходе к истории

А) марксистском
Б) эволюционном
В) теологическом
Г) субъективном

Модуль 2. История России с древнейших времен по XIX в.

Тема 2.1. Восточные славяне и Киевская Русь

1. Этногенез восточных славян.
2. Быт, общественный строй и верования восточных славян в древности.
3. Норманнская и антинорманнская теории происхождения Древнерусского государства.
4. Киевская Русь: особенности социального и политического развития.
5. Древнерусская культура.

Основные понятия:

Этногенез, военная демократия, язычество, полюдье, варяги, вече, Боярская дума, «Русская Правда», вотчина, децентрализация, уделы, иго.

Вопросы:

1. Каково происхождение восточных славян? На какой территории они проживали и каким был общественный строй восточных славян?

2. Каковы точки зрения современных ученых на проблему образования Древнерусского государства?

3. Каким был экономический и политический строй Древнерусского государства?

4.Какое значение имело принятие христианства для Киевской Руси и последующей истории России?

5. Как развивалась внутренняя и внешняя политика киевских князей в IX-XII вв.? Почему на Руси установилось монголо-татарское иго?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ узнают теории этногенеза и теории образования древнерусского государства;
- ✓ получат представление о культурном влиянии Византии на Русь;
- ✓ осознают последствия монголо-татарского нашествия на Русь.

Литература

Основная:

. История России с древнейших времен и до наших дней: учебник / А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – Москва: Проспект, 2015. – 768 с.

. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 1. – С. 12-45.

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н.

Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел I. – Глава 1-3, 5-7. - С. 3-61, 78-106.
История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.II.- Глава 1-2. – С. 26-66.
. Семенникова Л.И. Россия в мировом сообществе цивилизаций: учебник для студентов вузов неисторических специальностей / Л.И. Семенникова. – изд. 9-е. - М.: КДУ, 2008. – 782с. – Тема 1. – С. 50-76.

Дополнительная:

История России с древнейших времен до конца XVII в. Учебное пособие / Л.Н. Вдовина, Н.В. Козлова, Б.Н. Флоря; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2007. – 768с. – Глава 2. – С. 38-68.
. Кульгин Э.С. Золотая Орда: проблемы генезиса Российского государства. - М., 2006.
. Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 5-64.
. Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учеб. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – Глава I-IV. – С. 13-169.

Текущий контроль знаний:

1. **Заключение династических браков стало основным средством внешней политики Киевской Руси в годы правления …**
   А) Ярослава Мудрого
   Б) Владимира Крестителя
   В) Владимира Мономаха
   Г) Мстислава Великого

Памятником древнерусской литературы XII в., посвященным походу на половцев новгород-северского князя Игоря Святославича в 1185 году, является …

А) “Слово о полку Игореве”
Б) “Поучение Владимира Мономаха”
В) “Слово о погибели русской земли”
Г) “Сказание о Мамаевом побоище”

В 1223 г. первое сражение русских дружин с монголо-татарами произошло на реке …

А) Калке
Б) Дон
В) Угре
Г) Воже

Тема 2.2. Образование русского централизованного государства

1. Предпосылки образования Московского государства:
    а) экономические;
    б) социальные;
    в) политические;
    г) причины возвышения Москвы.
2. Основные этапы централизации русских земель.
3. Государство и церковь в XV – нач. XVI вв.

Основные понятия:

Централизация, поместье, сословно-представительная монархия, Земский собор, «Москва – третий Рим», митрополит, крепостное право.

Вопросы:

1. Каковы были предпосылки и причины объединения русских земель? Почему борьба за объединение сопровождалась соперничеством между русскими княжествами?

Почему Москва стала центром объединения русских земель? Каков вклад Ивана Калиты в возвышение Москвы?

3. Какую роль сыграла Русская православная церковь в период ордынского ига и борьбы за единство русских земель? Почему сложился союз между церковью и московскими князьями?

4. В чем значение Куликовской битвы? Охарактеризуйте деятельность Дмитрия Донского. Почему объединение русских земель привело к разрушению традиций самоуправления?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ осознают место Московского княжества и роль московских князей в процессе объединения земель;
- ✓ получат представление о взаимоотношениях Москвы, Твери, Новгорода, Литвы;
- ✓ узнают этапы объединения русских земель вокруг Москвы.

Литература

Основная:

История России с древнейших времен и до наших дней: учебник / А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – Москва: Проспект, 2015. – 768 с.

История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 2. – С. 46-61.

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел II. – Глава 3-5. - С. 132-177.

История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.III.- Глава 1. – С. 81-98.

Семенникова Л.И. Россия в мировом сообществе цивилизаций: учебник для

студентов вузов неисторических специальностей / Л.И. Семенникова. – изд. 9-е. - М.: КДУ, 2008. – 782с. – Тема 2. – С. 99-160.

Дополнительная:

История России с древнейших времен до конца XVII в. Учебное пособие / Л.Н. Вдовина, Н.В. Козлова, Б.Н. Флоря; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2007. – 768с. – Глава 8-10. – С. 232-334.

Скрынников Р.Г. Иван III / Р.Г. Скрынников. – М., 2006.

7. Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учеб. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – Глава VI. – С. 241-302.

Текущий контроль знаний:

Основателем династии московских князей был …

А) Даниил Александрович
Б) Юрий Данилович
В) Алексей Михайлович
Г) Иван Данилович

2. Земельное владение, предоставляемое на условиях несения службы, называется …

А) поместьем
Б) вотчиной
В) уделом
Г) отрезком

3. Победа русского войска на Куликовом поле в 1380 г.:

А) полностью освободила Русь от ордынского ига
Б) была первой крупной победой русских в борьбе с Ордой
В) завершилась гибелью Дмитрия Донского
Г) усилила роль Москвы как центра объединения русских земель

Тема 2.3. Русское государство в XVI в.

1. Реформы Избранной рады.
2. Опричнина.
3. Русское государство в конце XVI в.
4. Внешняя политика в XVI в.

Основные понятия:

Венчание на царство, Избранная рада, реформа, Приказы, стрельцы, Стоглав, опричнина, губные избы, династический кризис.

Вопросы:

1. Какие реформы были проведены в середине XVI в.? Каковы их результаты?
2. Какова роль Ивана Грозного в укреплении самодержавия?
3. Что такое опричнина? В чем ее смысл? Почему она была отменена?
4. На каких направлениях внешней политики Россия достигла наилучших результатов? Почему?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ осознают роль Ивана Грозного в установлении монархического правления;
- ✓ узнают последствия опричнины;
- ✓ смогут ориентироваться в направлениях и результатах внешней политики России.

Литература

Основная:

История России с древнейших времен и до наших дней: учебник / А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – Москва: Проспект, 2015. – 768 с.

Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, 2007. – 668с. – Глава 7. - С.83-104.

. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 2. – С. 46-47, 61-77.

История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел II. – Глава 6. - С. 178-212.

История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.III.- Глава 2. – С. 99-121.

Платонов С.Ф. Полный курс лекций по русской истории. - Ростов н/Д: Феникс, 2005. – Ч.2. - С. 185-238.

Дополнительная:

. История России с древнейших времен до конца XVII в. Учебное пособие / Л.Н. Вдовина, Н.В. Козлова, Б.Н. Флоря; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2007. – 768с. – Глава 12. – С. 352-396.

. Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 68-86.

. Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учеб. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – Глава VII. – С. 303-339.

Текущий контроль знаний:

1. В 1552 г. к России было присоединено _____ ханство.

А) Казанское
Б) Астраханское
В) Сибирское
Г) Крымское

2. В 1551 г. был созван Собор русской церкви, получивший название …

А) Стоглавого
Б) Земского

В) Негласного
Г) Избранного

Результатами опричнины были:
А) принятие Соборного уложения
Б) экономический кризис в стране
В) завоевание Россией Сибирского ханства
Г) сокращение посевных площадей и голод
Д) установление режима неограниченной власти Ивана IV
Е) создание регулярной армии

3.

Тема 2.4. Россия в XVII в.

1. Причины, периодизация и последствия Смуты.
2. Социально-экономическое развитие России в XVII в.
3. Русское государство и его институты в XVII в. Возникновение русского абсолютизма.
4. Внешняя политика России в XVII в.

Основные понятия:

Смута, польско-шведская интервенция, крестьянская война, Семибоярщина, народное ополчение, Земский собор, сословно-представительная монархия, патриарх, бунты, тягло, урочные и заповедные лета, мануфактуры.

Вопросы:

1. Что такое Смутное время?
Какие страны и с какой целью предприняли в начале XVII в. интервенцию в Россию? Каковы последствия Смутного времени?
3. Что позволило отстоять независимость России?
4. С чем связано усиление роли Земских соборов в начале XVII в.?
5. Какова роль Русской православной церкви и ее деятелей в годы Смуты и после нее?
6. Почему вторую половину XVII в. называют «бунташным веком»?
7. С кем воевала Россия в XVII в.? Каковы результаты этих войн?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ осознают место социальных институтов (Земского собора, Боярской думы, патриарха и Русской православной церкви) в период Смуты и правления первых Романовых;
- ✓ узнают об основных изменениях в государственном управлении, об установлении крепостного права в России.

Литература

Основная:

История России с древнейших времен и до наших дней: учебник / А.Н.

Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – Москва: Проспект, 2015. – 768 с.
Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, –
. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 3. – С. 78-118.
История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во П
История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.III.- Глава 3. – С. 122-144.
Платонов С.Ф. Полный курс лекций по русской истории. - Ростов н/Д: Феникс, 2005. – Ч.2. - С. 239-461.

Дополнительная:

История России с древнейших времен до конца XVII в. Учебное пособие / Л.Н. Вдовина, Н.В. Козлова, Б.Н. Флоря; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2
Козляков В.Н. Марина Мнишек. - М., 2005.
Патриарх Никон: трагедия русского раскола (сборник) / Составители В.И. Мельник, И.М. Стрижова. - М., 2006.
Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 87-
–
Скрынников Р.Г. Минин и Пожарский. - М., 2007.
Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учеб. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – Глава VIII-X. – С. 340-474.

Текущий контроль знаний:

Кодекс законов Российского государства, принятый Земским собором в 1648-1649 гг., называется …

А) Соборным уложением
Б) Судебником
В) Русской Правдой
Г) Конституцией

К причинам поражения восстания С. Разина относится …

А) стихийность и низкая организованность
Б) появление самозванцев
В) вмешательство интервентов
Г) смерть С. Разина

В царствование Михаила Федоровича в 1632-1634 гг. Россия вела Смоленскую войну с …

А) Речью Посполитой
Б) Швецией
В) Данией
Г) Австрией

Тема 2.5. Россия в XVIII в.

1. Реформы Петра I и их историческое значение.
2. Эпоха дворцовых переворотов.
3. «Просвещенный абсолютизм». Екатерина II.
4. Внешняя политика России в XVIII в.

Основные понятия:

Абсолютизм, империя, регулярное государство, Синод, Сенат, министерства, «Великое посольство», подушная подать, Табель о рангах, рекруты, ассамблеи, Кунсткамера, протекционизм, дворцовые перевороты, гвардия, Верховный Тайный совет, кондиции, «бироновщина», просвещенный абсолютизм, Уложенная комиссия, Жалованные грамоты дворянству и городам.

Вопросы:

1. Почему XVIII в. называют веком Просвещения и модернизации?
2. Каковы особенности складывания абсолютизма в России?
3. Каковы предпосылки реформ Петра I? Как Петр проводил реформы одновременно или в какой-то хронологической последовательности?
4. Что стало причиной Северной войны? Каковы ее последствия?
5. Почему после смерти Петра Великого происходили дворцовые перевороты?
6. Какие социально-экономические процессы происходили во время правления Екатерины II и Павла I? Каково значение крестьянской войны под предводительством Е. Пугачева?
7. Какие успехи были достигнуты во внешней политике во второй пол. XVIII в.?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ осознают роль личности правителя для развития государства;
- ✓ имеют представление о дворцовых переворотах;
- ✓ знают основные реформы XVIII в. и их значение для становления абсолютизма в нашей стране;
- ✓ могут ориентироваться в направлениях и результатах внешней политики России.

Литература

Основная:

Орлов А.С., Георгиев В.А., Георгиева Н.Г., Сивохина Т.А. История России. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Проспект, 2015. - 680 с.

Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, 2

0 История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям 0 для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 4,5. – С. 119-150, 151-168.

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел III. – Глава 3-5. - С. 305-438.

История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б

Мотревич В.П. Экономическая история России: учебное пособие. Екатеринбург, 2004. – Глава IV-V. –С. 92-124, 125-153.

Платонов С.Ф. Полный курс лекций по русской истории. - Ростов н/Д: Феникс, 2005. – Ч.3. – С. 462-686.

Дополнительная:

История России XVIII-XIX веков. Учебное пособие / Л.В. Милов, Н.И. Синбаев; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2006. – 784с. – Глава 1, 3-4, 6-7, 10, 12-13. – С. 9-45, 74-97, 127-195, 216-267, 280-308.

. Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 146-1

00. Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учебно. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – Глава X-XII. – С.475-579.

Текущий контроль знаний:

Крестьянская война под руководством Е.И. Пугачева началась в _____ году.

А) 1773

Б) 1767

В) 1775

Г) 1785

В 1727-1730 гг. российским императором был внук Петра I …

А) Петр II

Б) Петр III

В) Иван V

Г) Иван VI

Назовите имя непримиримого противника церковной реформы XVII в.:

А) патриарх Никон
Б) митрополит Макарий
В) протопоп Аввакум
Г) Алексей Михайлович

Тема 2.6. Россия в первой половине XIX в.

1. Александр I и его преобразования. М.М.Сперанский.
2. Царствование Николая I.
3. Общественно-политические движения в первой пол. XIX в.
4. Внешняя политика России в первой половине XIX в.

Основные понятия:

Либеральные реформы, конституционализм, Гос. Совет, реакция, консерватизм, общественное движение, декабристы, западники, славянофилы, бюрократизация, кодификация, финансовая реформа Е. Ф. Канкрина.

Вопросы:

1. В чем суть государственных преобразований при Александре I в начальный период царствования? Какова роль в них М.М. Сперанского?
2. Почему «дней Александровых прекрасное начало…»? Что такое «Аракчеевщина», какие последствия она имела для развития государства?
3. Какие последствия для России имели Отечественная война 1812 г. и восстание декабристов?
4. Почему первую половину XIX в. называют «золотым веком» русской культуры?
5. В чем состоял кризис николаевской системы правления? Почему Россия потерпела поражение в Крымской войне?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ понимают причины и значение общественного движения XIX в.;
- ✓ знают основные либеральные реформы Александра I, реакционные м
- ✓ умеют отличать программные документы декабристов;
- ✓ знают главные достижения культуры «золотого века».

Литература

Основная:

История России с древнейших времен до наших дней: учебник / В.А. Федоров, В.И. Моряков, Ю.А. Щетинов. – М.: ТК Велби, ЗАО «КноРус», 2007. – 668с. – Глава 13-14. – С. 206-267.

Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, 2007. – 668с. – Глава 13-14. – С. 206-267.

. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 6. – С. 169-197.

Ц
и
к
о
л
а
я

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел IV. – Глава 1-3. - С. 439-504.
История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б
Мотревич В.П. Экономическая история России: учебное пособие. Вкатеринбург, 2004. – Глава VI. – С. 154-192.
.

Дополнительная:

Л В поисках теории российской цивилизации: памяти А.С. Ахиезера: иборник / Сост. А.П. Давыдов. – М.: Новый хронограф, 2009. – 400с. – С. 107-ч
История России XVIII-XIX веков. Учебное пособие / Л.В. Милов, Н.И. Ц
История России. В 2 т. Т.2. С начала XIX века до начала XXI века / А.Н. Сахаров, Л.Е. Морозова, М.А. Рахматуллин и др.; под ред. А.Н. Сахарова. - М.: АСТ; Астрель; Хранитель, 2008. - 862с. - Глава 1-3. – С. 5-124.
10. Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 189-в
11. Экштут С.А. Александр I. Его сподвижники. Декабристы: в поиске исторической альтернативы. - СПб., 2004.

Текущий контроль знаний:

В 1809 г. по заданию Александра I проект преобразований в сфере государственного управления подготовил …

А) М.М. Сперанский
Б) Е.Ф. Канкрин
В) П.И. Пестель
Д) Н.М. Муравьев

В 1803 г. император Александр I издал указ о (об) …

А) вольных хлебопашцах
Б) обязанных крестьянах
В) отмене крепостного права
Г) секуляризации церковных земель

Форма организации войск, появившаяся в период правления Александра I, при которой строевая служба совмещалась с ведением хозяйства, - это:

А) опричное войско
Б) Запорожская Сечь
В) стрелецкое войско
Г) военные поселения

Тема 2.7. Эпоха «Великих реформ»

1. Кризис феодально-крепостнической системы к середине XIX в.
2. Крестьянская реформа.
3. Буржуазные реформы 1860-1870-х гг. и их значение.
4. Общественно-политические движения в пореформенной России.

Основные понятия:

Буржуазия, капитализм, рабочий класс, промышленный переворот, крестьянская реформа, выкупные платежи, временообязанные, уставные грамоты, крестьянская община, народничество, социал-демократия, контрреформы.

Вопросы:

1. Каковы предпосылки и идеология реформ Александра II?

2. В чем суть и каковы результаты крестьянской реформы 1861 г.?

3. Почему реформы 60-70-х гг. XIX в. называют либеральными? Какие изменения произошли в стране в итоге проведения земской, судебной, финансовой, образовательной и военной реформ?

4. Каковы были сильные и слабые стороны пореформенной модели развития России? В чем своеобразие российского капитализма?

Как развивалось общественное движение в России во второй половине XIX в.? Почему «царя-освободителя» убили в 1881 г.?

6. Почему Александр III проводил «контрреформы»? Каковы их цели и результаты? В чем суть курса, предложенного министром финансов С.Ю. Витте? Каковы итоги его «золотой» реформы?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ понимают причины и значение «Великих реформ»;
- ✓ умеют отличать реформы и контрреформы;
- ✓ знают основные общественно-политические движения в пореформенной России.

Литература

Основная:

Зуев М.Н. История России: учебное пособие. - М.: Высшее образование, 2007. – 668с. – Глава 15-16. – С. 268-320.

2. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 7. – С. 198-234.

История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во П

История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.IV.- Глава 4. – С. 234-248.

Мотревич В.П. Экономическая история России: учебное пособие. Екатеринбург, 2004. – Глава VII. – С. 193-230.

Р
е
к
т
,

6. Семенникова Л.И. Россия в мировом сообществе цивилизаций: учебник для студентов вузов неисторических специальностей / Л.И. Семенникова. – изд. 9-е. - М.: КДУ, 2008. – 782с. – Тема 4. – С. 293-340.

Дополнительная:

История России. В 2 т. Т.2. С начала XIX века до начала XXI века / А.Н. Сахаров, Л.Е. Морозова, М.А. Рахматуллин и др.; под ред. А.Н. Сахарова. - М.: АСТ; Астрель; Хранитель, 2008. - 862с. – Глава 6. – С. 179-200.
История России XVIII-XIX веков. Учебное пособие / Л.В. Милов, Н.И. Цинбаев; под ред. Л.В. Милова. – М.: Эксмо, 2006. – 784с. – Глава 24-26. – С.

9. Эйдельман Н.Я. Твой девятнадцатый век. - М., 2006.
10. Юрьевская Е.М. Александр II.- М., 2004.

Текущий контроль знаний:

С отменой крепостного права связан термин …

А) заповедные годы
Б) урочные лета
В) присяжные заседатели
Г) временнообязанные крестьяне

Один из важнейших итогов Крестьянской реформы 1861 г.:

А) началась крестьянская война против царя и помещиков
Б) резко выросла производительность сельского хозяйства
В) были сняты препятствия для капиталистического развития России
Г) возрос экспорт хлеба

Укрепление российских финансов на рубеже XIX-XX вв. связано с именем …

А) С.Ю. Витте
Б) Е.Ф. Канкрина
В) Н.А. Милютина
Г) К.П. Победоносцева

Модуль 3. История России в начале XX в.

Тема 3.1. Создание Советского государства. Советская Россия и СССР в 1920-30-е годы

1. Великая русская революция начала XX в.
2. Гражданская война в России.
3. Этапы формирования советского авторитаризма и тоталитаризма. Особенности советского тоталитаризма.
4. Внешняя политика страны в 1920-1930-е гг.

Основные понятия:

Модернизация, революция, «Манифест 17 октября», конституционная монархия, политическая партия, Государственная дума, Прогрессивный блок, Антанта, аграрная реформа П.А. Столыпина, Советы, Учредительное

собрание, «военный коммунизм», продразверстка, гражданская война, авторитаризм, тоталитаризм, Коминтерн, республика, индустриализация, коллективизация.

Вопросы:

1. Каковы причины революции 1905-1907 гг.? Какие позиции занимали в годы революции политические партии? В чем причины неудачи революции? В чем ее значение?

2.Как зародился парламентаризм в России? В чем суть аграрной реформы П.А. Столыпина? Каков ее ход и каковы результаты?

3. Почему Россия оказалась втянутой в Первую мировую войну? Каково значение участия России в мировой войне?

4. В чем причина свержения самодержавия? Что такое двоевластие? Как произошла Октябрьская революция? Почему большевикам удалось взять власть?

5. В чем причины гражданской войны? Почему большевики одержали победу?

6. Каковы причины перехода большевиков к новой экономической политике, а дальнейшем отказ Сталина от нее?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ понимают сущность демократического режима и конституционной монархии;
- ✓ осознают роль политических партий в обществе;
- ✓ знают особенности становления многопартийной системы в России, основные события революции и гражданской войны;
- ✓ умеют отличать советский авторитаризм от тоталитаризма;
- ✓ могут ориентироваться в направлениях и результатах внешней политики России.

Литература

Основная:

История России. XX век: 1894-1939 / под ред. А.Б. Зубова. – М.: Астрель: АСТ, 2010. - 1023 с.

История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «

МИстория России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел IV. – Глава 8-9. – С. 559-591. - Раздел V. – Глава 1-4. – С. 591-658.

История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.V.- Глава 1-3. – С. 249-304. - Ч.VI. – Глава 1-2. – С. 305-336.

Мотревич В.П. Экономическая история России: учебное пособие. Екатеринбург, 2004. – Глава VIII-IX. – С. 231-352.

0

7

.

–

. Оськин М.В. История Первой мировой войны. – М.: ООО «Издательский дом «Вече», 2014. – 496 с. Глава 1-2. – С. 7-195.

Дополнительная:

7. Бок М.П. П.А. Столыпин: Воспоминания о моем отце. - М., 2006.
. В поисках теории российской цивилизации: памяти А.С. Ахиезера: сборник / Сост. А.П. Давыдов. – М.: Новый хронограф, 2009. – 400с. – С. 23-50.
История России. В 2 т. Т.2. С начала XIX века до начала XXI века / А.Н. Сахаров, Л.Е. Морозова, М.А. Рахматуллин и др.; под ред. А.Н. Сахарова. - М.: АСТ; Астрель; Хранитель, 2008. - 862с. - Глава 13-14, 16-19. – С. 343-408,

Мухамедина Ш. Отечественная история новейшего времени: учебное пособие. – М.: КДУ, 2006. – Глава 1-3. – С. 10-112.
Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 234-

Текущий контроль знаний:

Созданная в октябре 1905 г. партия кадетов относилась к _____ направлению общественного движения.

А) радикальному
Б) либеральному
В) революционному
Г) охранительному

Союзником России в Первой мировой войне была …

А) Германия
Б) Австро-Венгрия
В) Болгария
Г) Великобритания

1 сентября 1917 г. Россия была провозглашена …

А) дуалистической монархией
Б) конституционной монархией
В) республикой
Г) федерацией советских республик

Тема 3.2. СССР в годы Второй мировой войны

1. Причины Второй мировой войны. СССР в начальный период мировой войны.
2. Начало Великой Отечественной войны, ее происхождение и характер. Этапы Великой Отечественной войны.

3. Власть и общество в годы войны. Исторические последствия Великой Отечественной войны.

Основные понятия:

Мюнхенский сговор», Лига наций, коллективная безопасность, пакт о ненападении, ГКО, антигитлеровская коалиция, план «Барбаросса», коренной перелом, партизанское движение, добровольцы, фашизм, ленд-лиз, безоговорочная капитуляция..

Вопросы:

1. Какая была международная обстановка в 1930-е гг. и какую внешнюю политику проводил Советский Союз? Почему СССР оказался участником Второй мировой войны? Какую цель преследовала Германия, нападая на СССР?

2. Каковы причины военных неудач СССР в 1941-1942 гг.? Почему советским войскам удалось победить под Москвой, Сталинградом, на Курской дуге?

3. Почему советско-германский фронт был решающим фронтом в годы Второй мировой войны?

4. Как сложилась антигитлеровская коалиция? Почему СССР победил в войне? Каковы были последствия этой победы?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ понимают сущность фашизма;
- ✓ знают основных участников и периодизацию Второй мировой и Великой Отечественной войн;
- ✓ могут ориентироваться в направлениях и результатах внешней политики России;
- ✓ осознают цену победы в войне.

Литература

Основная:

История России. XX век: 1939-2007 / под ред. А.Б. Зубова. – М.: Астрель: АСТ, 2011. - 847 с.

Верт Н. История Советского государства: 1900-1991. - М.: ИНФРА-М; Весь мир, 2003. – 544с. – Глава VIII. – С. 298-328.

История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 12. – С. 362-400.

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел V. – Глава 5. – С. 658-675.

. История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.VI.- Глава 3-4. – С. 337-

Дополнительная:

История России. В 2 т. Т.2. С начала XIX века до начала XXI века / А.Н.

Сахаров, Л.Е. Морозова, М.А. Рахматуллин и др.; под ред. А.Н. Сахарова. - М.: АСТ; Астрель; Хранитель, 2008. - 862с. - Т.2. – Глава 20. – С. 619-656.
Мухамедина Ш. Отечественная история новейшего времени: учебное пособие. – М.: КДУ, 2006. – Глава 4. – С. 113-136.
Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 554-

Текущий контроль знаний:

Заключительной операцией Великой Отечественной войны стало в мае 1945 г. освобождение …

А) Минска
Б) Парижа
В) Праги
Г) Лондона

СССР был исключен из Лиги Наций в декабре 1939 г. в связи с нападением на …

А) Прибалтику
Б) Польшу
В) Финляндию
Г) Бессарабию

План германского командования под кодовым названием «Барбаросса» предусматривал …

А) захват Мурманска
Б) уничтожение Красной Армии под Курском
В) разгром Красной Армии под Сталинградом
Г) молниеносный разгром сил Красной Армии

Модуль 4. История России во второй половине XX в.

Тема 4.1-3. СССР в 1945 – 1991 гг.

1. Борьба за власть в советском руководстве на рубеже 1940-1950-х гг.
2. Реформы Н.С.Хрущева.
3. СССР в эпоху «застоя». Л.И.Брежнев. Поиск путей развития в первой половине 1980-х гг.
4. «Перестройка» в СССР. Причины неудавшегося реформирования советского общества.

Основные понятия:

Либерализация политического режима, , десталинизация, «оттепель», ГУЛАГ, реабилитация, НТР, «холодная война», косыгинская реформа, паритет, правозащитное движение, диссиденты, «развитой социализм», герантократия, разрядка, «новое политическое мышление», плюрализм.

Вопросы:

1. Какие задачи стояли перед экономикой страны после окончания войны? Насколько обоснованным было возвращение И.В. Сталина к довоенным методам руководства?
2. Какие изменения произошли после смерти И.В. Сталина во внутренней и внешней политике? С чем связана либерализация политического режима? Как развивалась экономика в 1950-60-е годы?
3. Что такое «эпоха застоя»? Какие изменения произошли в эти годы в экономическом, социальном, политическом развитии, во внешней политике?
4. Почему советское государство, добившись в 1960-70-е гг. в соревновании с капиталистическим миром паритета в военной области, не смогло добиться в это же время паритета в области экономики?
5. В чем причины перестройки? Каковы ее цели и результаты? Каковы объективные и субъективные причины распада СССР?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ умеют отличать реформаторские проекты Маленкова, Берии, Хрущева;
- ✓ понимают сущность политики «оттепели» и «развитого социализма»;
- ✓ знают события и результаты эпохи перестройки;
- ✓ осознают последствия августовского политического кризиса 1991 г.

Литература

Основная:

История России. XX век: 1939-2007 / под ред. А.Б. Зубова. – М.: Астрель: АСТ, 2011. - 847 с.
Верт Н. История Советского государства: 1900-1991. - М.: ИНФРА-М; Весь мир, 2003. – 544с. – Глава IX-XII. – С. 329-528.
. История России с древнейших времен до наших дней / Под ред. А.Н. Сахарова, Морозова Л.Е. М., 2008.
История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 13,14,15,16. – С. 401-427, 428-449, 450-474, 475-

. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел V. – Глава 6-9. – С. 675-731.
. История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.VI.- Глава 4-6. – С. 351-

Дополнительная:

Мухамедина Ш. Отечественная история новейшего времени: учебное п
История России с начала XIX до начала XXI вв. / Под ред. А.Н. Сахарова. – М
Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное б
и
2
0
0

пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 571-

Текущий контроль знаний:

Правящий слой, господствующий в бюрократической системе управления СССР в 1960-1980-е гг., назывался …

А) коллаборационистами
Б) общественниками
В) шестидесятниками
Г) номенклатурой

Заключительный акт Совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе, подписанный в Хельсинки в августе 1975 г., констатировал …

А) создание Совета Безопасности ООН
Б) окончание «холодной войны» между Востоком и Западом
В) нерушимость послевоенных границ в Европе
Г) создание в Европе системы коллективной безопасности

Одной из причин кризисных явлений в экономике СССР в 1970-е – первой половине 1980-х гг. было …

А) развитие предпринимательства
Б) создание частных банков
В) господство административно-командной системы
Г) создание валютных и других бирж

Тема 4.4. Современная Россия

1. Август 1991 г. и его последствия. Начало становления современной России.
2. Социально-экономические и политические преобразования 1990-х гг., их последствия.
3. Россия в начале XXI в. В.В.Путин.
4. Россия и современный мир: опыт конца XX – начала XXI в.

Основные понятия:

СНГ, приватизация, «шоковая терапия», ваучер, правовое государство, рыночная экономика, дефолт, «вертикаль власти», олигархи, глобализация, Совет Федерации, ВТО.

Вопросы:

1. Имелась ли возможность сохранить СССР, советский строй, социалистические производственные отношения в начале 1990-х гг.? Каковы проблемы и перспективы развития СНГ?

2. Какие реформы проводились в России после 1991 г.? В чем причины их неудач? Какие силы и партии участвуют в политической борьбе в современной России?

3. Какие события и действия властей способствовали укреплению российской государственности, развитию экономики страны на рубеже XXI в.? Какие задачи стоят перед современной Россией?

4. Какие трудности и противоречия выявились в процессе формирования в России рыночной экономики и правового государства в начале XXI в.?
5. Каковы место и роль современной России в международной политике?

Результат:

В результате освоения содержания занятия студенты:

- ✓ понимают сущность демократического режима;
- ✓ знают основные вехи становления многопартийности и демократии в России;
- ✓ умеют различать ветви государственной власти в Российской Федерации;
- ✓ осознают необходимость модернизации современной России.

Литература

Основная:

1. История России: Учебно-методическое пособие к семинарским занятиям для студентов высших учебных заведений / Под ред. Г.Н. Сердюкова. Издание 2-е, испр. и доп. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2007. – 560с. – Тема 17. – С. 500-534.
2. История России с древнейших времен до наших дней /А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 768с. – Раздел V. – Глава 10. – С. 737-760.
3. История России с древнейших времен до наших дней: учебник / Н.Л. Клименко, В.Г. Кошкидько, С.В. Пронкин (и др.); под ред. А.В. Сидорова. – М.: Проспект, 2009.- 464с. – Глава 5. – С. 410-462.
4. История России с позиций разных идеологий: учеб. пособие / Под ред. проф. Б.В. Личмана. - Ростов н/Д: Феникс, 2007. – Ч.VII.- Глава 2. – С.426-

Мотревич В.П. Экономическая история России. Екатеринбург, 2004. – Глава XVIII. – С. 559-592.
Семенникова Л.И. Семенникова Л.И. Россия в мировом сообществе цивилизаций: учебник для студентов вузов неисторических специальностей / Л.И. Семенникова. – изд. 9-е. - М.: КДУ, 2008. – 782с. – Тема 11. – С. 747-761.

Дополнительная:

История России (IX – начало XXI вв.): учебник / С. Н. Полторак, А.Ю. Дворниченко, З.О. Джалиашвили и др.; под ред. А.Ю. Дворниченко, В.С. Измозика. – М.: Гардарики, 2005. – 479с. – Ч. V. – Глава 20. – С. 385-417.
Мухамедина Ш. Отечественная история новейшего времени: учебное пособие. – М.: КДУ, 2006. – Глава 7. – С. 188-213.
Семин В.П. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – С. 614-

Текущий контроль знаний:

Договор о создании СНГ был подписан 8 декабря 1991 г. между:

А) РСФСР, Украиной и Белоруссией
Б) РСФСР, Грузией и Азербайджаном
В) РСФСР, Казахстаном и Белоруссией

Г) РСФСР, Татарстаном и Украиной

2. **Политический кризис 1992-1993гг. проявился в:**
А) противостоянии законодательной и исполнительной ветвей власти
Б) роспуске СССР и создании СНГ
В) принятии Федеративного договора
Г) переходе к рыночным отношениям

3.**Референдум о принятии Конституции РФ проходил одновременно с выборами в новый парламент:**
А) 19 августа 1991 г.
Б) 11 марта 1985 г.
В) 8 декабря 1991 г.
Г) 12 декабря 1993 г.

V. ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ (ТЕКУЩЕЙ, ТВОРЧЕСКОЙ, ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ)

№ п/п	Формы организации	Формы контроля
1	Подготовка к семинарским работам, запоминание терминов, дат, известных личностей	Заполнение таблиц, диктанты
2	Выполнение проблемных, творческих заданий	Подготовка сообщений, докладов, презентаций
3	Работа с карто-схемой	Заполнение контурных карт , работа с атласами
4	Освоение тем, вынесенных на самостоятельное изучение	Собеседование, дискуссии, задания в тестовой форме
5	Структурирование информации	Схемы классификаций

VI. СОДЕРЖАНИЕ ТЕКУЩЕЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ (ПОДГОТОВКА К СЕМИНАРСКИМ ЗАНЯТИЯМ)

При изучении дисциплины студенты должны овладеть научными и прикладными знаниями в области истории Отечества. Для более успешного усвоения материала рекомендуется:

- систематически работать с учебной, прикладной, дополнительной литературой;
- применять полученные знания в процессе деловых игр и упражнений;
- использовать выдаваемый раздаточный материал;
- выполнять задания к семинарским занятиям;
- активно участвовать в лекционных и семинарских занятиях;
- выполнять промежуточные тестовые и контрольные задания по пройденным темам;
- использовать знания других дисциплин, близких по направленности с «Историей Отечества»;

- подбирать дополнительный материал на изученные темы.

Семинарские занятия являются формой организации самостоятельной работы студентов и активизации их познавательной самостоятельности.

Целью семинарских занятий является развитие интеллектуальных возможностей и способностей студентов, которые должны стать средством индивидуального освоения науки и культуры, основой профессиональной компетентности и внутренним источником ее развития. Содержание семинарских занятий - совместное проективно-деятельностное решение студентами и преподавателем познавательных задач, возникающих в результате **проблематизации** учебного процесса.

В процессе семинарских занятий по дисциплине студент должен приобрести умения получать новые эмпирические, теоретические и аксиологические знания, их систематизировать и концептуализировать; оперировать базовыми понятиями, теоретическими и ценностными конструктами учебного курса; решать познавательные задачи; логично выстраивать устные и письменные тексты.

С целью приобретения навыков усвоения знаний эмпирического характера студенту предлагаются задания для самостоятельной работы, например, заполнить **таблицы тематического содержания** (см. табл. 1,2,3).

С целью приобретения умений систематизации и концептуализации исторических знаний студент должен научиться выстраивать **устные и письменные тексты** в соответствии с определенным алгоритмом, который предварительно разрабатывается самим преподавателем. Подобный алгоритм студент может использовать во время своего ответа как на экзамене, так и на семинарском занятии.

Таблица 1.

Политика правителей Киевской Руси

Правители	Внутренняя политика	Внешняя политика
Олег		
Игорь		
Ольга		
Святослав		
Владимир		
Ярослав Мудрый		
Владимир Мономах		

Таблица 2.

Основные события внешней политики России XVI-XVIII вв.

Западное направление	Южное направление	Восточное направление

Одним из возможных алгоритмов такой систематизации и

концептуализации может быть следующее:

1. Хронология, периодизация, время исторических событий (процессов).
2. Историография (знание различных научных точек зрения по тому или иному вопросу, исторической проблеме).
3. Теория вопроса (определение базового понятия вопроса).
4. Предпосылки и причины исторических процессов или событий.
5. Ход исторических событий (процессов).
6. Значение (необходимо показать историческую роль, дать оценку, выявить последствия для развития России).

Таблица 3.

Реформы в России

Годы проведения	Содержание реформы
Первая четверть XVIII в.	
1860-70-е гг.	
Начало XX в.	
1920-30-е гг.	
Середина 50-х-начало 60-х гг.	
Середина 60-х-конец 70-х гг.	
1980-е гг.	
1990-е гг.	
Начало XXI в.	

С целью активизации познавательной самостоятельности и развития логики исторического мышления студентам предлагаются задания по решению разного рода познавательных задач, например, на доказательство и сравнение. При этом студент должен вначале усвоить определенный алгоритм их решения. Так, при решении **задачи на доказательство** можно использовать следующий алгоритм: 1) дать определение того, что надо доказать; 2) выявить, исходя из определения, основные направления поиска доказательства; 3) найти согласно этим направлениям конкретно-исторические факты доказательства. При решении **задачи на сравнение** можно использовать такой алгоритм: дать определение того, что сравнивается; 2) выделить, исходя из определения, параметры сравнения; 3) установить общее и различное между сравниваемыми историческими явлениями.

С целью развития творческой самостоятельности и креативного мышления, связанного с формализацией исторических знаний, студентам могут быть предложены **задания на составление** (заполнение) структурно-логических **схем** по вопросам семинарских занятий.

Особое место в структуре семинарского занятия принадлежит учебным докладам студентов. **Доклад** – важный вид самостоятельной деятельности студента по изучению истории, способствующий углубленному усвоению проблем курса, формированию навыков научно-исследовательской работы и

ораторского мастерства. Доклад может быть выполнен как в письменной, так и в устной форме, но обязательно в ходе доклада должна быть освещена проблема по тому или иному историческому событию или процессу.

Доклад требует от студента: теоретического осмысления первоисточников, умения применять усвоенные знания в анализе исторических событий прошлого и современной общественно-политической жизни, приобретения навыков работы с литературой, грамотного изложения изученной темы, правильного оформления (если в виде письменного сообщения – по плану раскрытия содержания с постраничными сносками) или составления презентации (если в виде слайд-шоу).

Для проверки качества полученных знаний и умений на семинарских занятиях практикуются 10-15-минутные контрольные **проверочные работы**. Например, дать определение 2-3 понятий; решить логическую задачу на доказательство или сравнение; ответить на вопрос, каковы были причины того или иного события; заполнить хронологическую таблицу или структурно-логическую схему и т.д.

Семинарские занятия по дисциплине завершаются **тестированием** студентов по соответствующему изученному разделу (см. примеры тестовых заданий в пункте «VIII. Содержание различных видов контроля по дисциплине»).

VII. УЧЕБНЫЙ СЛОВАРЬ ДИСЦИПЛИНЫ

АГК – антигитлеровская коалиция в составе СССР, Англии и США.

Антанта – неофициальное название военно-политического союза России, Франции и Великобритании в ходе Первой мировой войны.

Антоновщина – антибольшевистское выступление крестьян в Тамбовской губернии под руководством А.С. Антонова в 1920-1921 гг.

Баскачество – сборщики дани, представители ордынского хана на Руси.

Булыгинская Дума – законосовещательный орган по проекту председателя Особого совещания А.Г. Булыгина, о создании которого было объявлено 6 августа 1905 г.

Бояре – высший слой общества в России в X-XVII вв., владеющие вотчинами, осуществляющие подле великого князя государственное управление.

Брестский мир – сепаратный мир между Советской Россией и Германией, подписанный в Брест-Литовске 3 марта 1918 г.

Варяги – в русских источниках скандинавы или викинги, в Западной Европе их называли норманнами, были отважными мореходами и храбрыми воинами.

Вече – орган государственного самоуправления на Руси. На вече обсуждались вопросы войны и мира, кандидатуры князя, посадника, тысяцкого и др.

Вотчина – наследственное земельное владение князей, бояр, Церкви.

ВЧК – ОГПУ – НКВД – Всероссийская Чрезвычайная Комиссия по борьбе с контрреволюцией и саботажем, созданная по постановлению Совнаркома в 1917 г., переорганизованная в Объединенное государственное политическое управление на правах самостоятельных наркоматов в 1923 г. В последующие годы слияние и разделение наркоматов внутренних дел и государственной безопасности (как и их переименование) происходило неоднократно.

«Выход» - дань Золотой Орде, которую платили русские княжества в период ига.

Государственный Совет – высшее законосовещательное учреждение Российской империи в период с 1810 по 1906 г.

ГУЛАГ – главное управление трудовых лагерей и трудовых поселений.

Двоевластие – деятельность двух органов власти - Временного правительства и Петроградского Совета рабочих и солдатских депутатов после Февральской революции 1917 г.

Дворцовые перевороты – смена власти после правления Петра I, происходившая при поддержке дворянских группировок и гвардии.

Дворянство – слой служилых людей при князе, а позднее при царе, исполняющие административно-судебные и хозяйственные поручения, владеющие поместьем.

Депортация – принудительное переселение некоторых народов СССР.

Закупы – полузависимые крестьяне, взявшие в долг «купу» - ссуду на заранее оговоренных условиях. При ее погашении должник становился свободным, в ином случае – он оставался в зависимом положении.

Земские соборы – периодически созываемые царем съезды представителей всех слоев русского общества, за исключением помещичьих крестьян.

Интервенция – насильственное вторжение в политику другого государства.

КВЖД – Китайская Восточная железная дорога, построенная Россией в 1896-1904 гг.

Кодификация – систематизация и расположение в хронологическом порядке всех существующих законов и государственных актов.

Комбеды – комитеты бедноты, которые осуществляли продразверстку в деревне в годы гражданской войны.

Коминтерн - Коммунистический Интернационал.

Кондиции – условия ограничения царской власти.

«Кормление» - форма «платы» наместникам – князьям и боярам, передача им земель с правом сбора дани как средство их содержания.

Кровавое воскресенье – расстрел рабочих, обратившихся с петицией к царю в ходе манифестации у Зимнего дворца 9 января 1905 г.

Кронштадтский мятеж – антибольшевистское выступление моряков Кронштадта в 1921 г.

Ленд-лиз – передача в аренду или взаймы другому государству ресурсов, необходимых для обороны.

«Люди» - свободные крестьяне-общинники.

Мануфактура – производственное предприятие с разделением ручного труда.

Местничество – порядок назначения на должности по знатности рода и давности службы великому князю.

Наместник – с XII в. глава местной администрации.

Национализация – огосударствление собственности в годы советской власти.

НЭП – новая экономическая политика 1921-1928 гг.

Община (мир, вервь) – коллектив земледельцев в рамках одной деревни или села. Она решала все важные вопросы внутренней сельской жизни: вопросы оборота земель (передела земель внутри общины), организации общих и общественных работ (в пользу князя, государства), распределения и сбора с ее членов податей и сборов, розыска преступников.

Печенеги – тюркоязычный кочевой народ, с IX в. обитавший в южнорусских степях, совершавшие набеги на Русь, победу над ними в 1036 г. одержал князь Ярослав Мудрый.

Полюдье – форма сбора дани от Рюрика до княгини Ольги. Полюдье начиналось в ноябре, продолжалось всю зиму и заканчивалось в апреле; полгода князь ездил «по людям», собирал дань, общался с местным населением, «напоминал» о своем руководстве, судил местное население.

Православие – восточное направление в христианстве.

Приказы – органы государственного управления по отраслям.

Продналог – продовольственный налог взамен продразверстки с 1921 г.

Продразверстка – продовольственная разверстка по деревням в качестве натуральной повинности принудительное изъятия у крестьян требуемого государством количества продовольствия.

«Просвещенный абсолютизм» - политика ряда монархов Европы второй половины XVIII в., пытавшихся воплотить идеи Просвещения в практику правления.

Полки «иноземного строя» - наемные войска, сформированные по новому принципу, находились на полном довольствии государства.

Поместье – условное землевладение дворян.

Посадские люди – торговцы и ремесленники.

Промышленный переворот – переход от ручного труда к машинному от мануфактур к фабрично-заводскому производству.

Протекционизм – политика покровительства отечественной торговле и промышленности путем предоставления налоговых льгот, кредитов, заказов.

Раскол – религиозно-общественное движение, отделение от РПЦ части верующих, не принявших реформу патриарха Никона (1653-1656 гг.).

Реестр – список казаков Украины, состоящих на военной службе и получающих жалованье.

Родовая община – коллектив кровных родственников, который имеет общую собственность и хозяйство. Несколько родов объединялись в племена.

РПЦ – Русская Православная Церковь.

Рядовичи - полузависимые крестьяне, служившие феодалам по договору («ряду»), по положению близкие закупам.

Самодержавие – самодержавное правление царя в России.

Семибоярщина – правительство, состоящее из семи бояр, организовавшие заговор против Василия Шуйского во время Смуты.

Совнарком – Временное рабоче-крестьянское правительство, появившееся в результате декрета о власти с 26 октября 1917 г..

Тягло – денежные и натуральные повинности крестьян и посадских людей в пользу государства.

Усобицы – войны между князьями за великокняжеский престол.

Уроки – четкая форма сбора дани, введенная княгиней Ольгой.

«Урочные лета» - срок розыска беглых крестьян в XVI-XVII вв. С 1649 г. установлен бессрочный сыск беглых.

Феодализм – система имущественных и общественных отношений (преобладавшая в средние века), связанная с феодом – землей, как с основным средством жизнеобеспечения.

Феодальные повинности - барщина и оброк.

Хазарский каганат – государство, созданное хазарами – тюркоязычным кочевым племенем в Прикаспийских и Причерноморских степях в VII в.

«Холодная война» - политика противостояния, проводимая двумя сверхдержавами СССР и США.

Холопы – безземельные и полностью бесправные крестьяне, фактически находящиеся на положении рабов.

Челядь – домашние слуги.

Ярлык – ханская грамота на великое княжение.

Ясак – натуральный налог с народов Севера и Сибири, чаще пушниной.

СОДЕРЖАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КОНТРОЛЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСТОРИЯ»

Примеры текущих тестовых заданий

по модулю II «История России с древнейших времен по начало XVIII в.»

Вариант №1

1.Какое из событий произошло позже всех других?

1) восстание древлян
2) крещение Руси
3) призвание варягов
4) объединение Киева и Новгорода

2. Среди перечисленных дат найди год образования древнерусского государства: 1) 945 г.; 2) 882 г.; 3) 988.; 4) 1015 г.

3. Заполнить таблицу. Основные точки зрения на генезис Древнерусского государства

Название теории	Содержание	Представители теории
Норманская		

Антинорманская		

4. Расположи имена русских князей в хронологической последовательности их деятельности:
1) Владимир Мономах; 2) Святослав; 3) Ярослав Мудрый; 4) Игорь; 5) Рюрик
5. **Сравните:** А) полюдье и повоз; Б) поместье и вотчину.
Что между ними общего? Каковы различия?
6. Чем прославились в русской истории Д. Пожарский и К. Минин?
7. Первый письменный свод законов Древней Руси:
1) «Русская Правда»
2) Судебник
3) «Домострой»
4) Стоглав
8. Перечисли княжества появившиеся в результате феодальной раздробленности Руси в XII в.
9. Расположите в хронологической последовательности следующие события:
1) княжение Даниила Александровича;
2) «стояние на реке Угре»;
3) присоединение Новгорода к Москве;
4) «Мамаево побоище».
10. Победа на Куликовском поле в 1380 г. привела:
1) к падению монголо-татарского ига;
2) к усилению позиций московского князя;
3) к гибели Золотой Орды;
4) к ликвидации системы баскачества
11. Объясни отрицательные и положительные последствия монголо-татарского ига на Руси.
12. Распишите все события в истории России в начале XVII в. Почему этот период в истории прозвали Смутным временем?
13. Опишите все преобразования Петра I. В какой последовательности он их проводил: последовательно или все одновременно? Почему Петр назван Великий?

Вариант №2

1.Какое из событий произошло позже всех других?
1) крещение Руси
2) Невская битва
3) Куликовская битва
4) призвание варягов
2. Среди перечисленных дат найдите год крещения Руси:
1) 945 г.; 2) 882 г.; 3) 988.; 4) 1015 г.
3. Расположите имена русских князей в хронологической последовательности их деятельности:
1) Святослав; 2) Игорь; 3) Ярослав Мудрый; 4) Олег Вещий; 5) Рюрик

4. Сравните: А) барщину и оброк; Б) поместье и вотчину.
Что между ними общего? Каковы различия?
5. Чем прославился в русской истории Александр Невский?
6. Сохранившийся до наших дней первый письменный исторический источник:
1) Повесть временных лет;
2) «Русская Правда»
3) «Домострой»
4) Стоглав
7. Перечислите княжества появившиеся в результате феодальной раздробленности Руси в XII в.
8. Расположите в хронологической последовательности следующие события:
1) княжение Ивана Калиты;
2) битва на реке Калке;
3) присоединение Твери к Москве;
4) «стояние на реке Угре»
9. Победа на Куликовском поле в 1380 г. привела:
1) к падению монголо-татарского ига;
2) к усилению позиций московского князя;
3) к гибели Золотой Орды;
4) к ликвидации системы баскачества
10. Объясни отрицательные и положительные последствия правления Ивана Грозного в XVI в.
11. Заполните таблицу. Этапы закрепощения крестьян

Этап	Краткое содержание этапа
1497 г.	
1550 – 1581 гг.	
1597 г.	
1649 г.	

12. Распишите все события в истории России второй половины XVII в. Почему этот период назван «бунташным веком»?
13. Опиши все преобразования Петра I. В какой последовательности он их проводил: последовательно или все одновременно?

. Примеры текущих тестовых заданий *по модулю II «История России XVIII-XIX вв.»*

Вариант №1

1. Какое из событий произошло позже всех других?
1) правление Елизаветы Петровны
2) восстание Е.Пугачева

3) правление Петра III
4) губернская реформа Екатерины II

2. Какие из перечисленных понятий, терминов возникли в ходе государственных преобразований Петра I?

А) судебник; Б) коллегии; В) Гос.Совет; Г) Табель о рангах; Д) Соборное уложение; Е) Духовный регламент.

Укажи верный ответ: 1) АВГ; 2) АГД; 3) БГЕ; 4) ВГД.

3. Главные итоги петровских реформ:

А) ослабление центральной власти
Б) полное подчинение церкви государству
В) укрепление крепостного гнета
Г) сокращение бюрократического аппарата
Д) создание боеспособной профессиональной армии и военного флота.

4. Восстановите последовательность царствований русских монархов 1725 – 1762 гг.:

А) Елизавета Петровна
Б) Екатерина Алексеевна
В) Петр Алексеевич
Г) Иван Антонович
Д) Петр Федорович
Е) Анна Ивановна

5. Каким было условие для получения Анной Иоанновной престола?

1) ликвидация Верховного совета, восстановление Сената;
2) командование гвардейскими полками;
3) освобождение дворян от обязательной военной службы;
4) совместное правление с Верховным советом.

6.Установите соответствие между понятиями и именами исторических личностей, с которыми связано их возникновение:

1) Анна Иоанновна	А) временнообязанные крестьяне
2) Екатерина II	Б) бироновщина
3) Александр I	В) «теория официальной народности»
4) Николай I	Г) «Аракчеевщина»
5) Александр II	Д) Уложенная комиссия

7. Опиши предпосылки, причины, события, значение и итоги Отечественной войны 1812 г.

8. Почему «дней Александровых прекрасное начало»?

9.Что обозначают понятия: уставные грамоты, Секретный комитет, мировые посредники, крестьянская община, отрезки.

10. Заполнить таблицу. Реформы 60-70- х гг. в России.

Название реформы	Время проведения	Основные положения
Крестьянская		
Земская		
Городская		
Судебная		

Военная		
Финансовая		

11. Что из перечисленного ниже связано с событиями 1 марта 1881 г.?
А) создание «» Союза борьбы за освобождение рабочего класса; Б) убийство Александра II; В) баррикадные бои в Москве; Г) арест С.Л. Перовской; Д) созыв Государственной Думы; Е) суд над народовольцами.
Укажите верный ответ: 1) АБВ; 2) АВД; 3) БГЕ; 4) ВГД.
12. Почему русская культура XIX в. получила название «золотого века»? Докажите примерами.

Вариант №2

1. Причинами дворцовых переворотов в период 1725-1762 гг. были:
А) отсутствие четкого порядка престолонаследия
Б) народные волнения
В) высокая роль гвардии при дворе
Г) недовольство дворян петровскими реформами
Д) борьба за власть среди высшей знати.
2. Какое из событий произошло позже всех других?
1) правление Петра II
2) кондиции Анны Иоанновны
3) Семилетняя война
4) правление Елизаветы Петровны
3. Какие из перечисленных понятий, терминов возникли в ходе государственных преобразований Петра I?
А) судебник; Б) ассамблеи; В) Гос.Совет; Г) Табель о рангах;
Д) Соборное уложение; Е) Духовный регламент.
Укажи верный ответ: 1) АВГ; 2) АГД; 3) БГЕ; 4) ВГД
4. Что из названного относится к эпохе дворцовых переворотов?
1) прекращение деятельности Земских соборов;
2) упразднение Боярской Думы;
3) усиление роли гвардии;
4) учреждение патриаршества.
5. Установите соответствие между понятиями и именами исторических личностей, с которыми связано их возникновение:
1) Анна Иоанновна А) народовольцы
2) Екатерина II Б) кондиции
3) Александр I В) «чугунный устав»
4) Николай I Г) указ о вольных хлебопашцах
5) Александр II Д) Жалованная грамота дворянству
6. Расположите события периода правления Александра I в правильной хронологической последовательности:
1) созыв Государственного Совета
2) насаждение военных поселений
3) восстание декабристов на Сенатской площади
4) деятельность негласного комитета

5) «Указ о вольных хлебопашцах»
6) Бородинское сражение
7) учреждение министерств

7. Опиши предпосылки, причины, события, значение и итоги Отечественной войны 1812 г.

8. Важнейшие государственные посты в первые годы правления Александра I занимали:

А) либералы
Б) революционеры
В) консерваторы

9**. Что обозначают понятия: редакционные комиссии, Главный комитет, мировые посредники, крестьянская община, выкупные платежи.**

10. Опишите военную реформу 1874 г. Ее сильные и слабые стороны.

11. Что из перечисленного ниже связано с событиями 1 марта 1881 г.?

А) создание «» Союза борьбы за освобождение рабочего класса; Б) убийство Александра II; В) баррикадные бои в Москве; Г) арест С.Л. Перовской; Д) созыв Государственной Думы; Е) конституция Лорис-Меликова.
Укажите верный ответ: 1) АБВ; 2) АВД; 3) БГЕ; 4) ВГД.

12. Храм Христа Спасителя был построен в Москве в честь:

А) победы русского народа в войне 1812 г.
Б) 900-летия введения христианства на Руси
В) тысячелетия российского государства
Г) победы советского народа в войне 1941-1945 гг.

. Примеры текущих тестовых заданий *по модулю III «История России начала XX в.»*

Вариант №1

1. Какое из событий произошло позже всех других?

1) первая русская революция;
2) русско-японская война;
3) аграрная реформа П.А. Столыпина;
4) деятельность I Гос. Думы.

2. Какая партия представляла либеральное движение России начала XX в.

1) меньшевики; 2) кадеты; 3) анархисты; 4) эсеры

3.Заполните таблицу: Основные политические партии (1900 – 1917):

Название партии (дата образования)	Лидеры политической партии	Политическая программа	Аграрная программа

4. Первая российская революция привела к

1) провозглашению России республикой;
2) опубликованию Манифеста 17 октября;

3) формированию многопартийности;
4) провозглашению демократических прав.

5. Что является результатами

А) русско-японской войны;
Б) Первой мировой войны;
В) внешней политики 1920-30-х гг.

6. Кто из перечисленных деятелей были современниками:

1) А.Ф. Керенский и Гапон;
2) Л.П. Корнилов и Троцкий;
3) П.А. Столыпин и С.Ю. Витте;
4) Николай II и Г.К. Жуков.

7. Почему гражданская война является трагедией победителей и побежденных?

8. Опишите причины, мероприятия и результат Февральской революции.

9. В 1924 г. в СССР объединились:

1) РСФСР, УССР, ЗСФСР, Туркменская ССР, БССР, Узбекская ССР;
2) РСФСР, БССР, Киргизская ССР, УССР, Казахская ССР;
3) РСФСР, УССР, Молдавия, ЗСФСР, БССР, Узбекская ССР;
4) РСФСР, БССР, УССР, ЗСФСР.

10. Почему введена была «новая экономическая политика», и какие она имела положительные и отрицательные результаты?

11. Что означает «великий перелом», какие три мероприятия, в какие годы, какое из них на твой взгляд является наиболее значимым и почему?

12. О событиях 25 октября 1917 г. в Петрограде

Спокойствие на октябрьских улицах, отсутствие толп и боев давали противникам повод говорить о заговоре ничтожного меньшинства, об авантюре кучки большевиков … В действительности же большевики могли свести в последний момент борьбу за власть к «заговору» не потому, что были маленьким меньшинством, а, наоборот, потому, что имели за собою в рабочих кварталах и казармах подавляющее большинство, сплоченное, дисциплинированное.

(Троцкий Л.Д. История русской революции. М., 1990)

Вопросы: Какие причины победы большевиков называет автор? Вы согласны с ним? Свой ответ аргументируйте.

Вариант №2

1. Какое из событий произошло позже всех других?

1) декабрьское вооруженное восстание в Москве;
2) русско-японская война;
3) издание Манифеста о политических свободах и созыве Гос. Думы;
4) реформы С.Ю. Витте.

2. Какая партия представляла консервативное движение России начала XX в.

1) союз русского народа; 2) кадеты; 3) большевики; 4) эсеры.

3. Первая российская революция привела к

1) созданию Гос. Совета;
2) появлению Гос. Думы»
3) провозглашению России республикой;
4) крушению самодержавия.

4. Расположите в хронологическом порядке события первой буржуазно-демократической революции:

1) восстание на броненосце «Потемкин»
2) Декабрьское вооруженное восстание в Москве
3) Кровавое воскресенье
4) Третьеиюньский переворот
5) провозглашение Манифеста 17 октября
6) начало деятельности Первой Государственной думы

5. Что является причинами

А) русско-японской войны;
Б) Первой мировой войны;
В) противоречивой советской внешней политики 1920-30-х гг.

6. Кто из перечисленных деятелей были современниками:

1) А.Ф. Керенский и Троцкий;
2) Л.П. Корнилов и Гапон;
3) Николай II и С.Ю. Витте;
4) П.А. Столыпин и Г.К. Жуков.

7. Причины и источники победы большевиков в октябрьские дни 1917 года

8. Опиши причины, мероприятия и результат Февральской революции.

9. В 1922 г. в составе СССР объединились:

1) РСФСР, УССР, Молдавия;
2) РСФСР, БССР, Польша;
3) РСФСР, УССР, Молдавия, ЗСФСР;
4) РСФСР, БССР, УССР, ЗСФСР.

10. Почему введена была «политика военного коммунизма», и какие она имела положительные и отрицательные последствия?

11. Что означает «великий перелом», какие три мероприятия, в какие годы, какое из них на твой взгляд является наиболее значимым и почему?

. Примеры текущих заданий *по модулю IV «История России 1985 –1991 гг.»*

1.Укажите первого президента СССР:

1) Ю. Андропов; 2) Б. Ельцин; 3) М. Горбачев; 4) Л. Брежнев

2. XIX Всесоюзная партконференция, принявшая решение о реформировании политической системы СССР, проходила в:

1) 1980 г., 2) 1988 г., 3) 1989 г., 4) 1990 г.

3.Провозглашенный М. Горбачевым курс на ускорение социально-экономического развития страны включал в себя:

1) введение госприемки на предприятиях;
2) проведение антиалкогольной кампании;

3) решительный переход к рыночной экономике;
4) укрепление трудовой дисциплины;
5) массовые забастовки рабочих.

4. Составьте структурно-логическую таблицу «Преобразования страны в годы перестройки»

Экономические реформы	Политические преобразования	Реформы в социальной сфере	Изменения в области культуры

5. В Содружество Независимых Государств вошли:
1) Россия, 2) Литва, 3) Белоруссия, 4) Грузия, 5) Украина.

6. По какому принципу образован ряд?
Г. Янаев, В. Павлов, Д.Язов, В. Крючков, Б. Пуго.

7. Расположите в хронологической последовательности:
А) Л.Брежнев, б) М.Горбачев, в) Б.Ельцин, г) К.Черненко, д) Ю.Андропов

8. О чем идет речь?
Принципами этой политики были: отказ от представлений о расколе мира на две противоположные системы: капиталистическую и социалистическую; признание мира единым; в качестве основного способа решения международных проблем объявлялся баланс интересов, а не баланс сил; признание приоритета общечеловеческих ценностей в качестве главных.

9. Высшим органом законодательной власти в СССР по новому избирательному закону 1988 г. стал: 1) Государственный Совет; 2) Государственная Дума; 3) Съезд народных депутатов; 4) Съезд Коммунистической партии.

10. Один из основных итогов экономической реформы 1987 г.:
1) либерализация цен;
2) переход государственных предприятий в частные руки;
3) начало формирования частного сектора в экономике;
4) роспуск колхозов.

11. Расположите в хронологической последовательности:
а) избрание президента РСФСР,
б) создание ГКЧП и проведение путча,
в) принятие Декларации о государственном суверенитете РСФСР,
г) отставка М. Горбачева,
д) Беловежское соглашение.

12. В конце 1980-х – 1990-х гг. представители коммунистического политического направления выступали за:
1) преимущественное развитие общественной собственности,
2) свободу личности,
3) развитие парламентской демократии,
4) социалистический выбор развития,
5) учреждение частной собственности.

13. Как вы оцениваете в целом личность М. Горбачева и его деятельность («+» или «-»)? Почему? Можно ли, только его одного обвинять в развале СССР?

1.5. Пример итогового (рубежного) теста

К социальным функциям исторического знания не относится функция …
А) социального проектирования
Б) воспитательная
В) познавательная
Г) прогностическая

Определение степени вероятности осуществления того или иного события, процесса на основе анализа объективных реальностей и возможностей называется принципом …
А) альтернативности
Б) социального подхода
В) историзма
Г) объективности

Важной составляющей воспитательной функции исторического знания является …
А) выработка научно обоснованного курса
Б) формирование гражданских, нравственных ценностей
В) описание исторических событий и явлений
Г) сопоставление исторических объектов в пространстве и времени

Конкретные способы изучения исторических процессов называются …
А) методами
Б) категориями
В) принципами
Г) историко-философскими подходами

Характерной чертой современной исторической науки в России является …
А) методологический плюрализм
Б) географический детерминизм
В) субъективизм
Г) эволюционизм

Автором первого обобщающего труда по истории России был …
А) В.Н. Татищев
Б) М.Н. Тихомиров

В) В.О. Ключевский
Г) М.Н. Покровский

Налоговая реформа княгини Ольги с целью упорядочивания сбора дани установила …
А) барщину и оброк
Б) ясак и подать
В) уроки и погосты
Г) полюдье и повоз

Иван Калита получил от монголо-татар право …
А) заключения союза с Тверью
Б) торговли с Литвой
В) сбора дани с русских княжеств
Г) окончательного объединения русских княжеств

В XIII в. новгородское войско во главе с князем Александром Невским противостояло агрессии …
А) Ливонского ордена
Б) Речи Посполитой
В) Франции
Г) Венгрии

Закономерный процесс экономического усиления и политической обособленности феодальных владений называется …
А) централизацией
Б) местничеством
В) кормлением
Г) политической раздробленностью

Возвышение Московского княжества в XIV в. связано с именем …
А) Дмитрия Донского
Б) Ивана Красного
В) Ивана Калиты
Г) Симеона Гордого

В 1382 г. состоялся поход на Русь во главе с ханом …
А) Тохтамышем
Б) Батыем
В) Узбеком
Г) Ахматом

«Стояние на реке Угре» привело к …
А) новому походу монголо-татар на Русь
Б) полному разгрому русского войска

В) окончанию монголо-татарского ига на Руси
Г) возобновлению уплаты дани монголо-татарам

Годы, в течение которых устанавливался розыск беглых крестьян, называются _____ лета.
А) заповедные
Б) крестьянские
В) крепостные
Г) урочные

Столица Византийской империи, Константинополь, был захвачен в 1453 году …
А) готами
Б) булгарами
В) вандалами
Г) турками-османами

Регентом в период малолетства Ивана IV (1533-1538) был (-а) …
А) Алексей Адашев
Б) Андрей Курбский
В) Елена Глинская
Г) митрополит Макарий

Исторический источник по истории средневековой России – «Стоглав» представляет собой …
А) сборник решений церковного собора 1551 г.
Б) летописный свод
В) политический трактат
Г) свод законов Российского государства

В XVII в. самосожжение и уход в леса и пустоши были основными формами протеста …
А) казачества
Б) старообрядцев
В) крестьянства
Г) горожан

В царствование Михаила Федоровича в 1632-1634 гг. Россия вела Смоленскую войну с …
А) Австрией
Б) Данией
В) Речью Посполитой
Г) Швецией

В 1648 г. произошел _____ бунт.

А) Соляной
Б) Медный
В) Хлебный
Г) Соловецкий

Петр I правил Россией в _____ годах.
А) 1700-1721
Б) 1682-1725
В) 1700-1725
Г) 1698-1725

Северная война завершилась подписанием _____ мира.
А) Шведского
Б) Северного
В) Ништадского
Г) Парижского

«Золотым веком» российского дворянства историки называют правление …
А) Петра I
Б) Елизаветы Петровны
В) Екатерины I
Г) Екатерины II

В сентябре 1814 - июне 1815 г. состоялся _____ конгресс.
А) Лондонский
Б) Венский
В) Парижский
Г) Берлинский

Реорганизация управления государственной деревней в правление Николая I была поручена …
А) И.И. Шувалову
Б) П.Д. Киселеву
В) М.М. Сперанскому
Г) А.Х. Бенкендорфу

В 1870-х гг. генерал М.Д. Скобелев принимал активное участие в _____ войне.
А) русско-турецкой
Б) русско-японской
В) Первой мировой
Г) Гражданской

Активное проникновение России в Среднюю Азию во второй половине XIX в. привело к обострению отношений с …
А) Францией
Б) Италией
В) Англией
Г) Германией

После вступления в Первую мировую войну Турции начались военные действия на _____ фронте.
А) Бессарабском
Б) Крымском
В) Галицийском
Г) Кавказском

Центром подготовки вооруженного восстания в Петрограде в октябре 1917 г. стал …
А) Коммунистический Интернационал
Б) Совет Народных Комиссаров
В) Военно-революционный комитет
Г) Временный комитет Государственной думы

В 1918-1930 гг. наркомом иностранных дел в советском правительстве был …
А) В.И. Ленин
Б) Н.И. Бухарин
В) П.Н. Милюков
Г) Г.В. Чичерин

Под влиянием Всероссийской политической стачки Николай II был вынужден подписать _____ Манифест «Об усовершенствовании государственного порядка».
А) 9 января 1905 г.
Б) 17 октября 1905 г.
В) 27 апреля 1906 г.
Г) 3 июня 1907 г.

27 апреля 1906 г. в Петербурге открылись заседания …
А) Учредительного собрания
Б) I Государственной думы
В) Всероссийского съезда Советов
Г) IV Государственной думы

После отречения Николая II в марте 1917 г. в России …
А) власть попытался захватить генерал Л.Г. Корнилов

Б) было создано Временное правительство
В) открылся II Всероссийский съезд Советов
Г) к власти пришли большевики

Декларация прав народов России, изданная 2 ноября 1917 г., провозгласила …
А) создание унитарного государства
Б) равенство и суверенность наций
В) привилегии для русских
Г) запрет на создание самостоятельных государств

В ходе Гражданской войны на стороне красных воевал …
А) Н.Н. Юденич
Б) М.В. Фрунзе
В) Е.К. Миллер
Г) А.И. Деникин

Решающую роль в ходе Гражданской войны сыграли настроения …
А) рабочих
Б) крестьян
В) дворян
Г) интеллигенции

Социально-экономическая политика советской власти в годы Гражданской войны и военной интервенции, сущностью которой были: ускоренная и полная национализация промышленности, продразверстка, отмена торговли и денежного обращения, централизованное нормированное распределение продуктов населению, жесткая централизация, введение всеобщей трудовой повинности, контроль государства за средствами массовой информации, преследование инакомыслия, красный террор, а цель – быстрый рывок в коммунизм – это _____ . (выбрать: Новая экономическая политика, «военный коммунизм», государственный капитализм, диверсификация производства)

Первая Конституция СССР была принята …
А) 25 апреля 1923 г.
Б) 31 января 1924 г.
В) 30 декабря 1922 г.
Г) 6 апреля 1924 г.

Понятие «великий перелом» относится к …
А) освоению целины
Б) введению продналога
В) сплошной коллективизации

Г) введению продразверстки

В 1934 г. СССР вступил в международную организацию …
А) ОБСЕ
Б) Лига Наций
В) Совет Безопасности
Г) Коминтерн

Первая встреча руководителей ведущих держав антигитлеровской коалиции состоялась в Тегеране в _____ году.
А) 1933
Б) 1943
В) 1939
Г) 1945

Второй фронт был открыт в _____ года.
А) ноябре 1943
Б) июле 1943
В) июне 1944
Г) феврале 1945

В ходе Второй мировой войны в июне 1944 года …
А) открылась Тегеранская конференция
Б) началась блокада Ленинграда
В) союзники высадились в Нормандии
Г) завершилась Сталинградская битва

Неприятие советского внешнеполитического принципа мирного сосуществования стран с различным общественно-политическим строем и критики Сталина стали причиной ухудшения отношений СССР с …
А) Чехословакией
Б) Югославией
В) Германской Демократической Республикой
Г) Китаем

Понятие «Новоогаревский процесс» возникло в связи с разработкой …
А) нового союзного государства
Б) внешнеполитической стратегии СССР
В) новой Программы КПСС
Г) программы перехода к рыночной экономике

Экономическая политика Е.Т. Гайдара, проводимая в 1992 г., предусматривала …
А) централизацию управления народным хозяйством
Б) государственное регулирование ценообразования

В) либерализацию цен
Г) увеличение финансирования социальной сферы

Противостояние между законодательной и исполнительной ветвями власти в октябре 1993 г. завершилось …
А) проведением президентских выборов
Б) формированием нового состава Верховного Совета РФ
В) роспуском Съезда народных депутатов и Верховного Совета РФ
Г) внесением дополнений в действующую Конституцию страны

Кейс задание: Кейс 1.

Из рассказа Н.А. Бестужева о событиях 14 декабря в Петербурге:
« Мы были окружены со всех сторон: бездействие поразило оцепенением умы; дух упал, ибо тот, кто на этом поприще раз остановился, уже побежден вполовину. Сверх того, пронзительный ветер леденил кровь в жилах солдат и офицеров, стоявших так долго на открытом месте. Атаки на нас и стрельба наша прекратилась; «ура» солдат становилось реже и слабее. День смеркался. Вдруг мы увидели, что полки, стоявшие против нас, расступились на две стороны и батарея артиллерии стала между нами с разверстыми зевами, тускло освещаемая серым мерцанием сумерек …»

Упоминаемые в тексте события произошли в __ году.

Кейс-задание: Кейс 2.
Из Манифеста о незыблемости самодержавия:
«В бозе почивший родитель Наш, приняв от Бога самодержавную власть на благо вверенного ему народа, пребыл верен до смерти принятому им обету и кровию запечатлел великое свое служение … благостию и кротостью совершил он величайшее дело своего царствования – освобождения крепостных крестьян … Посреди великой Нашей скорби глас Божий повелевает Нам стать бодро на дело правления в уповании на Божественный промысел, с верою в силу и истину самодержавной власти, которую Мы призваны утверждать, и охранять для блага народного от всяких на нее поползновений».

В тексте идет речь о смерти российского императора …
- Александра II
- Николая I
- Александра III
- Николая II

Кейс-задание: Кейс 3.
Из Манифеста о незыблемости самодержавия:
«В бозе почивший родитель Наш, приняв от Бога самодержавную власть на благо вверенного ему народа, пребыл верен до смерти принятому им обету и кровию запечатлел великое свое служение … благостию и кротостью совершил он величайшее дело своего царствования – освобождения крепостных крестьян … Посреди великой Нашей скорби глас Божий повелевает Нам стать бодро на дело правления в уповании на Божественный промысел, с верою в силу и истину самодержавной власти, которую Мы призваны утверждать, и охранять для блага народного от всяких на нее поползновений».

Упоминаемая в тексте отмена крепостного права произошла в _____ году.

Кейс-задание: Кейс 4.
Из Туркманчайского мирного договора 1828 г.:
«Статья I. Отныне на вечные времена пребудет мир, дружба и совершенное согласие между е.в. императором всероссийским и е.в. шахом персидским, их наследниками престолов, их державами и обоюдными подданными …
Статья III. Е. в. шах персидский от своего имени и от имени своих наследников и преемников уступает Российской империи в совершенную собственность ханство Эриванское по сию и по ту сторону Аракса и ханство Нахичеванское. Вследствие сей уступки е.в. шах обязуется не позже шести месяцев, считая от подписания настоящего договора, сдать российским начальствам все архивы и публичные документы, относящиеся до управления обоими вышеозначенными ханствами …
Статья VI. Е.в. шах персидский, в уважение значительных пожертвований, причиненных Российской империи возникшею между обоими государствами войною, а также потерь и убытков, потерпенных российскими подданными, обязуется вознаградить оные денежным возмездием …».

Фамилия русского дипломата и писателя, принимавшего участие в выработке условий выгодного для России Туркманчайского мирного договора, - …_____.

Кейс-задание: Кейс 5.
Из Туркманчайского мирного договора 1828 г.:

«Статья I. Отныне на вечные времена пребудет мир, дружба и совершенное согласие между е.в. императором всероссийским и е.в. шахом персидским, их наследниками престолов, их державами и обоюдными подданными …
Статья III. Е. в. шах персидский от своего имени и от имени своих наследников и преемников уступает Российской империи в совершенную собственность ханство Эриванское по сию и по ту сторону Аракса и ханство Нахичеванское. Вследствие сей уступки е.в. шах обязуется не позже шести месяцев, считая от подписания настоящего договора, сдать российским начальствам все архивы и публичные документы, относящиеся до управления обоими вышеозначенными ханствами …
Статья VI. Е.в. шах персидский, в уважение значительных пожертвований, причиненных Российской империи возникшею между обоими государствами войною, а также потерь и убытков, потерпенных российскими подданными, обязуется вознаградить оные денежным возмездием …».

По условиям подписанного в 1828 году Туркманчайского мирного договора …

- к России отходила Восточная Армения
- на Персию налагалась контрибуция
- к Персии отходила Южная Бессарабия
- на Россию налагалась контрибуция

Кейс-задание: Кейс 6.
Из Берлинского трактата 1878 г.:
«Статья 1. Болгария образует из себя княжество самоуправляющееся и платящее дань, под главенством е. и. в. султана: она будет иметь христианское правительство и народную милицию …
Статья XLV. Княжество Румынии уступает обратно е. в. императору всероссийскому часть Бессарабской территории, отошедшей от России по Парижскому трактату 1856 г., ограниченную с запада руслом Прута, с юга руслом Килийского рукава и устьем Старого Стамбула …
Статья LVIII. Блистательная Порта уступает Российской империи в Азии территории Ардагана, Карса и Батума, с портом последнего …
Статья LIX. Е. в. император всероссийский объявляет, что его намерение сделать Батум порто-франко по преимуществу коммерческим.
Статья LX. Долина Алашкерта и город Баязет, уступленные России статьей XIX Сан-Стефанского договора, возвращаются Турции …».

Фамилия российского министра иностранных дел, подписавшего в 1878 г. Берлинский трактат, - … _____.

Кейс-задание: Кейс 7.

Культура СССР в 1930-х гг. развивалась под жестким контролем коммунистической партии, которая насаждала марксистскую идеологию, в том числе и через культуру и искусство. Все, что не вписывалось в официальное русло идеологии, преследовалось. Основным художественным методом, использовавшимся в советском искусстве, был социалистический реализм. Термин «соцреализм» появился в 1932 г. и охватывал все сферы художественной деятельности. Выступая на I съезде советских писателей в 1934 г. партийный идеолог Жданов А.А. так охарактеризовал этот художественный метод: «В нашей стране главные герои литературного произведения – это активные строители новой жизни: рабочие и работницы, колхозники и колхозницы, партийцы, хозяйственники, инженеры, комсомольцы, пионеры … Наша литература насыщена энтузиазмом и героикой … Наша литература сильна тем, что служит новому делу – делу социалистического строительства».

В соответствии с методом социалистического реализма были написаны литературные произведения, как …

- «Мать» Максима Горького
- «Как закалялась сталь» Николая Островского
- «Мастер и Маргарита» Михаила Островского
- «Доктор Живаго» Бориса Пастернака

Кейс-задание: Кейс 8.

Из доклада Первого секретаря ЦК КПСС на XX съезде партии «О культе личности и его последствиях»: «Выясняется, что многие партийные, советские, хозяйственные работники, которых объявили в 1937-1938 годах «врагами», в действительности никогда врагами, шпионами, вредителями и т.п. не являлись, что они, по существу, всегда оставались честными коммунистами, но были оклеветаны, а иногда, не выдержав зверских истязаний, сами на себя наговаривали (под диктовку следователей-фальсификаторов) всевозможные тяжкие и невероятные обвинения».

С докладом «О культе личности и его последствиях» на XX съезде КПСС выступил …

- Н.С. Хрущев
- Н.А. Булганин
- И.В. Сталин
- Л.И. Брежнев

1.6. Образец выполнения итогового (рубежного) теста

Функция истории, позволяющая влиять на поведение и действия людей, называется …

- воспитательной
- познавательной
- аксеологической
- коммуникативной

Исторический источник по истории средневековой России – «Стоглав» представляет собой …

- сборник решений церковного собора 1551 г.
- летописный свод
- политический трактат
- свод законов Российского государства

Принцип объективности – это изучение исторических явлений …

- во всей их многогранности и противоречивости
- с учетом социальных интересов различных слоев общества
- в развитии, в соответствии с конкретно-исторической обстановкой
- в соответствии с господствующей идеологией в обществе

Существенный вклад в развитие отечественной исторической науки в XX веке внес …

- Б.А. Рыбаков
- В.Н. Татищев
- М.В. Ломоносов
- М.Н. Погодин

Верования древних славян до принятия у них христианства назывались …

- язычеством
- синтоизмом
- православием
- католичеством

В XII в. Русь вступила в период …

- политической раздробленности
- централизации
- цивилизации
- республики

В 1240 г. после длительной осады монголо-татары взяли город …

А) Рязань
Б) Новгород
В) Козельск
Г) Киев

Невская битва состоялась в _____ году.

- 1240
- 1242
- 1223
- 1238

Московский князь Дмитрий Иванович за личную храбрость и полководческие заслуги в 1380 г. на Куликовом поле получил прозвище

- Донской
- Невский
- Темный
- Красный

К западным славянам относятся такие современные народы, как …

- поляки, чехи и словаки
- русские, украинцы и белорусы
- болгары, сербы и черногорцы
- финны, эстонцы, литовцы

Автором произведения древнерусской литературы XV в. «Хождение за три моря» является …

- Афанасий Никитин
- Семен Дежнев
- Епифаний Премудрый
- Авраамий Палицын

Казачьим атаманом и предводителем похода в Сибирь в 80-гг. был …

- Ермак
- Кучум
- Адашев
- Висковатый

Непрофессиональные воины, объединенные в военное формирование на добровольной основе, называются …

- ополченцами
- стрельцами
- рекрутами
- рейтарами

В 1654 г. началась церковная реформа патриарха _____ .

- Никона
- Макария
- Иова
- Алексея

Столица Византийской империи, Константинополь был захвачен в 1453 году …

- турками-османами
- булгарами
- готами
- вандалами

В ходе Северной войны русские войска разгромили шведский флот у мыса …

- Гангут
- Синоп
- Чесма
- Дежнева

Во второй половине XVIII в. в русской архитектуре преобладал стиль …

- классицизм
- модерн
- рококо
- барокко

В январе 1820 г. русская экспедиция открыла новый континент, получивший название …

- Антарктида
- Северная Америка
- Австралия
- Южная Америка

В годы правления Николая I в России было (-а) …

- построена первая железная дорога
- отменено крепостное право
- введена конституция
- отменена цензура

Земская реформа была проведена в _____ году.

- 1864
- 1861
- 1868
- 1874

В 1884 г. новый университетский Устав …

- ликвидировал автономию вузов
- разрешил учиться в вузах женщинам
- запретил учиться в вузах детям крестьян
- ввел автономию вузов

Самой многочисленной социальной группой в России в конце XIX в. были …

- крестьяне
- разночинцы
- дворяне
- рабочие

Раньше других в России возникли _____ партии.

- революционные
- либеральные
- правые
- монархические

Идеолог заговорщического направления в русском народничестве Петр Ткачев разделял взгляды французского революционера …

- Огюста Бланки
- Жана Кольбера
- Жора Клемансо
- Жана Жореса

Среди союзников России в Первой мировой войне была _____ .

- Франция
- Германия
- Австро-Венгрия
- Османская империя

В ходе Февральской революции в России …

- установилось двоевластие
- к власти пришли большевики
- установилась военная диктатура
- возникла партия эсеров

Учредительное собрание открылось в Петрограде в _____ 1918 г.

- январе
- феврале
- ноябре

- декабре

К причинам гражданской войны относится _____ .
- деятельность большевистских продотрядов и комбедов
- убийство царской семьи
- разрешение выхода крестьян из общины
- возникновение монополий

В 1922 г. на пост генерального секретаря партии был избран …
- И. В. Сталин
- Л. Д. Троцкий
- Л. Б. Каменев
- В. И. Ленин

Генуэзская конференция состоялась в _____ году.
- 1922
- 1924
- 1928
- 1934

На завершающем этапе войны Красная Армия осуществила операцию …
- «Багратион»
- «Уран»
- «Кольцо»
- «Тайфун»

Характерной чертой экономического развития СССР в 1945-1953 гг. было …
- использование в народном хозяйстве труда заключенных
- использование хозяйственного расчета на предприятиях
- разрешение аренды земли
- разрешение частной собственности

Двоюродным братом российского императора Николая II был …
- английский король Георг V
- император Австро-Венгрии Карл I
- император Германии Вильгельм II
- шведский король Густав V

Советская литература периода «хрущевской оттепели» характеризовалась …
- умеренной критикой «культа личности» Сталина
- созданием разнообразных литературных групп и течений

- возвращением имен писателей-эмигрантов первой волны
- отказом от принципа социалистического реализма

Диссидентами в СССР называли …
- лиц, не разделявших господствующей идеологии
- выступавших за развитие страны по самобытному пути
- политическую парламентскую оппозицию
- уехавших за границу граждан СССР

Территориальные проблемы, связанные с послевоенными европейскими границами (германская проблема) были урегулированы в …
- начале 1970-х гг.
- конце 1940-х гг.
- начале 1960-х гг.
- конце 1970-х гг.

Противостояние между законодательной и исполнительной ветвями власти в октябре 1993 г. завершилось …
- роспуском Съезда народных депутатов и Верховного Совета РФ
- проведением президентских выборов
- формированием нового состава Верховного Совета РФ
- внесением дополнений в действующую Конституцию страны

Поводом к свертыванию процесса разрядки международной напряженности послужило введение советских войск в …
- Афганистан
- Венгрию
- Чехословакию
- Корею

Из рассказа Н.А. Бестужева о событиях 14 декабря в Петербурге: « Мы были окружены со всех сторон: бездействие поразило оцепенением умы; дух упал, ибо тот, кто на этом поприще раз остановился, уже побежден вполовину. Сверх того, пронзительный ветер леденил кровь в жилах солдат и офицеров, стоявших так долго на открытом месте. Атаки на нас и стрельба наша прекратилась; «ура» солдат становилось реже и слабее. День смеркался. Вдруг мы увидели, что полки, стоявшие против нас, расступились на две стороны и батарея артиллерии стала между нами с разверстыми зевами, тускло освещаемая серым мерцанием сумерек …»

На российский престол при обстоятельствах, описанных в тексте, вступил император …
- НиколайI
- Павел I

- Александр I
- Александр II

В русской архитектуре с принятием христианства началось каменное строительство. До нащих дней в том или ином виде сохранилось около двух сотен каменных храмов X-XIII вв. Знаменитый храм древнего Киева – Софийский собор был заложен в 1037 г. Своим посвящением храм напоминает о главной святыне Константинополя – храме Святой Софии Премудрости Божией. Олицетворением Божественной Премудрости считался Иисус Христос. Киевская София со времени своей постройки и до конца XIII в. служила кафедральным храмом главы всей Русской церкви – митрополита Киевского. Немало повидав за свой долгий век и едва избежав полного разрушения в период, когда Киев находился под властью Речи Посполитой, Софийский собор все же дошел до наших дней.

Софийский собор в Киеве был построен в правление князя …
- Ярослава Мудрого
- Владимира Крестителя
- Владимира Мономаха
- Мстислава Великого

В русской архитектуре с принятием христианства началось каменное строительство. До нащих дней в том или ином виде сохранилось около двух сотен каменных храмов X-XIII вв. Знаменитый храм древнего Киева – Софийский собор был заложен в 1037 г. Своим посвящением храм напоминает о главной святыне Константинополя – храме Святой Софии Премудрости Божией. Олицетворением Божественной Премудрости считался Иисус Христос. Киевская София со времени своей постройки и до конца XIII в. служила кафедральным храмом главы всей Русской церкви – митрополита Киевского. Немало повидав за свой долгий век и едва избежав полного разрушения в период, когда Киев находился под властью Речи Посполитой, Софийский собор все же дошел до наших дней.

Характерными элементами убранства древнерусских храмов были …
- фрески
- мозаики
- витражи
- пинакли

Примерная тематика контрольных работ

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

2.1. Примерные темы для контрольных работ:

Вариант 1.

1. Современные дискуссии о месте России в мировом историческом процессе.
2. Судьбы славянских народов – история и современность.
3. Проблемы образования Древнерусского государства (VIII – нач. IX вв.).
4. Проблемы развития Киевской Руси (IX-XII вв.).
5. Проблемы развития Удельной Руси (XII – XIII вв.).
6. Золотая Орда – мифы и реальность.
7. Александр Невский – герой или предатель Руси?
8. Проблемы образования русского централизованного государства (XIV-XV вв.).
9. Иван IV Грозный.
10. Проблемы расширения территории Российского государства в XVI в.
11. Самозванцы Российского государства.
12. Проблемы формирования российского абсолютизма в середине XVII в.
13. Петр I – тиран или «революционер на троне» в делах семейных и государственных?
14. Императрицы XVIII в.
15. «Непросвещенный абсолютизм» Павла I.
16. Активная внешняя политика XVIII в.: «+» и «-» последствий.
17. «Дней Александровых прекрасное начало…» (Реформы Александра I).
18. Герои Отечественной войны 1812 г.
19. Реформаторы России первой четверти XIX в.
20. Кризис феодально-крепостнического строя в 1830-50 –е гг.
21. Особенности промышленного переворота в России в XIX в.
22. Развитие российской экономики конца XIX - начала XX вв. «Контрреформы» Александра III.
23. Особенности формирования многопартийной системы в России на рубеже XIX - XX вв.
24. Героизм русских солдат в ходе русско-японской войны (1904-1905 гг.).
25. Столыпинская аграрная реформа и ее результаты.
26. Роль восточного фронта в ходе I мировой войны.
27. Разложение монархии в России. Николай II – последний российский император.
28. Новые подходы в изучении исторических событий гражданской войны в России (1917-1921 гг.).
29. Итоги НЭПа для развития России.
30. Проблемы и противоречия в процессе образования СССР.
31. Исторические портреты лидеров большевизма: В.И. Ленин, Л.Д. Троцкий, И.В. Сталин. Переход к тоталитаризму в СССР.
32. Деятельность Коминтерна и репутация СССР в 1920-30 –е гг.
33. Трагедия и героизм народа в годы ВОВ (1941-1945 гг.).

34. Правда о «золотом веке» цен. Экономическая политика государства в 1945-1953 гг.
35. «Оттепель» Н.С. Хрущева: штрихи к политическому портрету.
36. Период застоя. Время правления Л.И. Брежнева.
37. Проблемы «перестройки». Причины несостоявшегося реформирования советского общества при М.С. Горбачеве.
38. Последствия распада СССР. Национальные отношения на современном этапе развития России.
39. Оценка деятельности Б.Н. Ельцина.
40. Холодная война (1946 - 1991 гг.) и ее последствия для развития России.

Вариант 2.

1. Деятельность и исторические концепции:
а) Н.М.Карамзина
б) С.М.Соловьева
в) В.О.Ключевского
г) М.Н.Покровского
2. Варяги и Русь.
3. Принятие христианства на Руси.
4. Русские земли и Золотая Орда: трансформация взаимоотношений в XIV-XV вв.
5. Иван III – государь всея Руси.
6. Роль Русской православной церкви в процессе политической централизации русских земель.
7. Личность Ивана IV в историографии.
8. Государственные деятели, политические и духовные лидеры России начала XVII в.: исторические портреты и оценки историков (по выбору).
9. Социальные протесты в России в XVII в.: истоки, сущность и последствия.
10. Оценки личности и деятельности Петра I в исторической литературе.
11. Европейский и российский абсолютизм: общее и особенное.
12. Внешняя политика России в XVIII в. Ее оценки в исторической литературе.
13. Исторические портреты государственных деятелей эпохи «дворцовых переворотов».
14. Оценки личности и деятельности Екатерины II в исторической литературе.
15. Движение декабристов: исторические дискуссии.
16. П.Я.Чаадаев о прошлом, настоящем и будущем России.
17. Исторический портрет Александра II.
18. Деятели эпохи реформ: К.Д. Кавелин, Б.Н.Чичерин, Д.А. Милютин и др.
19. Николай II: проблема личности в истории.
20. Первый опыт российского парламентаризма начала XX в.
21. Первая мировая война 1914-1918 гг. в исторических концепциях.
22. Исторические альтернативы 1917 года.

23. Брестский мир: историко-теоретическая интерпретация в отечественной историографии.
24. Судьбы российской эмиграции в исторической литературе.
25. Советский опыт социально-экономической модернизации: цели, содержание, результаты, оценки.
26. Исторические портреты В.И.Ленина, Л.Д.Троцкого, И.В.Сталина (по выбору).
27. Национально-государственное устройство и особенности политической системы Советской России в 1920-1930-е гг.
28. Проблемы социокультурного развития в 1930-е гг.: достижения и потери. Сталинизм.
29. Внешняя политика СССР накануне и в начале Второй мировой войны: современные подходы и оценки.
30. Великая Отечественная война: исторические и политические споры.
31. «Холодная война» и ее причины. Мероприятия по ограничению гонки вооружений в 1960-1980-е гг.
32. Н.С.Хрущев: политический портрет. Проблемы «оттепели».
33. Л.И.Брежнев: политический портрет на фоне «застоя».
34. М.С.Горбачев и «перестройка».
35. Национальные конфликты на территории СССР в конце 1980-х – начале 1990-х гг. Распад СССР.
36. Эпоха Б.Н.Ельцина: политический портрет.
37. Период стабильности конца XX - начала XXI вв. В.В.Путин: социально-экономические и административно- политические проекты и реформы.

2.2. Требования к оформлению контрольных работ:

Контрольная работа печатается на компьютере на одной стороне белой бумаги формата А4 (210х297 мм) через полтора интервала, 14 шрифтом.

Объем контрольной работы не должен превышать 25 страниц текста, включая титульный лист, план работы и список использованной литературы, исключая приложение. Каждый лист должен быть пронумерован арабскими цифрами. Номер страницы на титульном листе не ставится.

Текст должен быть разделен на разделы соответственно плану работы. Обязательно наличие оглавления, введения, основной части, заключения и списка использованной литературы и источников.

Список использованной литературы должен включать не менее 5 источников, при этом обязательно использование текущей, периодической печати. Данные, полученные из Интернета, также обязательно должны быть включены в список, по названиям сайтов. При ссылках на Интернет-источники обязательно указание даты создания и последнего обновления используемых материалов.

Список литературы оформляется по алфавиту, начиная с фамилии, затем инициалы имени и отчества, далее название, место и год издания. После списка на русском языке, идет список на иностранном языке, затем названия сайтов.

На всю использованную литературу в тексте должны быть ссылки.

Иллюстрации (чертежи, таблицы, графики, схемы и карты) следует расположить на отдельных листах Приложения. Каждый лист Приложения нумеруется следующим образом: в верхнем правом углу - Приложение 1, ниже по середине – название иллюстрации, внизу, под иллюстрацией - наименование вида (типа) иллюстрации, например, картосхема 1. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в тексте.

3. Примерные темы докладов и рефератов

1. Природа и общество: природно-климатический фактор в русской истории.
2. «Великое переселение народов» и проблема миграции славянских племен.
3. Проблема происхождения Древнерусского государства в отечественной историографии.
4. Языческие верования древних славян.
5. Христианизация Руси и ее значение.
6. Монгольское нашествие на Русь и его значение в концепции «евразийцев».
7. Северо-Восточная и Юго-Западная Русь в эпоху раздробленности: два пути развития русских земель.
8. Причины возвышения Москвы в отечественной историографии.
9. Идеологическая концепция «Москва – Третий Рим».
10. Эволюция социальной структуры русского общества в XIII-XV вв.
11. Сословно-представительные учреждения в России и Западной Европе: общее и особенное.
12. Московская Русь глазами иностранцев.
13. Реформы Избранной Рады.
14. Присоединение Зауралья к России: поход Ермака.
15. Смута на Руси: причины, характер, исторические альтернативы.
16. Проблема самозванчества в исторической литературе.
17. Соборное Уложение 1649 г.
18. Положение женщины в русском обществе по данным «Домостроя».
19. Церковный раскол и его влияние на русскую культуру.
20. Предшественники Петровских реформ (А. Ордин-Нащокин, В. Голицын).
21. Личность Петра I в исторической литературе.
22. Внешняя политика Петра I: от решения национальных задач к имперской политике.
23. Быт русского дворянства в XVIII в.
24. Фаворитизм в истории России XVIII в.
25. Правительственный конституционализм в XIX в.
26. Дворянская оппозиция: причины возникновения, взгляды, действия.
27. Внешняя политика России в XVIII в.
28. Кавказская война: история и современность.
29. Российские полководцы России XVIII-XIX вв.

30. Реформа 1861 г. в современной исторической литературе.
31. Российский либерализм второй половины XIX в.
32. Деятельность земских учреждений во второй половине XIX – начале XX в.
33. “Восточный вопрос” во внешней политике России.
34. Русский консерватизм XIX столетия: идеология и практика.
35. Эволюция российского революционного движения.
36. Реформаторы России XIX в.: проекты, планы, их реализация.
37. Российское крестьянство и аграрный вопрос в России (XIX – начало XX в.).
38. Реформы С. Ю. Витте, П. Д. Святополка - Мирского, П. А. Столыпина: сравнительный анализ.
39. Эволюция политической системы России в 1905 – 1907 гг.
40. Альтернативы политического развития России в 1917 г.
41. Политические партии в 1917 г.
42. Кризисы власти в 1917.
43. Октябрь 1917 г.: переворот, восстание, революция?
44. Политика “военного коммунизма”: сознательный выбор или необходимость?
45. Образование СССР. Особенности советской национальной политики.
46. Международное положение СССР в 1920-е гг.
47. Внутрипартийная борьба в РКП (б) – ВКП (б) в 1920-е гг.
48. Советская модель тоталитаризма.
49. Эволюция внешней политики СССР в 1930-е гг.
50. Советско – японское соперничество на Дальнем Востоке.
51. Советско – финская война.
52. Присоединение Прибалтики к СССР.
53. «Культурная революция» в СССР: итоги, цена, последствия.
54. Советско–германское сближение в 1939 – 1940 гг.: причины, проявления, последствия.
55. Русская православная церковь в годы войны.
56. Партизанское движение в годы войны: причины, характер, последствия.
57. Роль ленд-лиза в совместной борьбе против фашизма.
58. Формирование антигитлеровской коалиции: предпосылки и основные этапы.
59. Советский коллаборационизм: предательство или борьба со сталинизмом?
60. Человек на фронте и в тылу: человеческое измерение войны.
61. Разгром японской Квантунской армии (1945).
62. Встречи «Большой тройки»: итоги и последствия.
63. Ялтинско – Потсдамская система международных отношений.
64. Цена победы СССР в Великой Отечественной войне.
65. Финансовая реформа 1947 г.
66. Создание ядерного оружия в СССР.
67. Участие СССР в Корейской войне.

68. Советско – югославский конфликт.
69. Венгерские события 1956 г.
70. Социальная политика Советского государства в период «оттепели».
71. Курс на «развернутое строительство коммунизма» и «поздние реформы» Хрущева.
72. Реформы Н.С. Хрущева и А.Н. Косыгина.
73. Усиление консервативных тенденций в политической жизни страны в середине 1960- х – середине 1980-х гг. Диссидентское движение.
74. Особенности внешнеполитического курса в 1953 -1985 гг.
75. СССР в 1985 – 1991 г.: «перестройка» и ее итоги.
76. «Новое мышление» и международная практика советского правительства.
77. Современная Россия: характеристика социально-экономического, политического и духовного развития.

. Примерные вопросы для подготовки к экзамену

1. История как наука и учебная дисциплина. Всеобщая история и Отечественная история. Исторические источники. Историография курса.
2. Восточные славяне в древности. Этногенез.
3. Проблемы образования Древнерусского государства (VIII-IX вв.).
4. Первые древнерусские князья. Христианизация Руси.
5. Проблемы политического и социального развития Киевской Руси (X-XII вв.).
6. Феодальная раздробленность на Руси (XII-XIII вв.).
7. Монголо-татарское вторжение на Русь. Проблема последствий монгольского нашествия.
8. Борьба русских земель со шведской и немецкой агрессией в XIII в. Александр Невский.
9. Образование русского централизованного государства (XIV-XV вв.).
10. Русское государство в XVI веке. Иван IV Грозный.
11. Внешняя политика и расширение территорий Российского государства в XVI веке.
12. Смутное время (начало XVII века).
13. Россия в середине XVII века. Формирование абсолютизма.
14. Народные движения второй половины XVII века. Церковный раскол.
15. Реформы Петра I: их содержание и последствия.
16. Дворцовые перевороты в России в середине XVIII века.
17. Россия в эпоху Екатерины II: просвещенный абсолютизм. Павел I.
18. Внешняя политика России в XVIII веке: события, итоги.
19. Россия в первой четверти XIX века. Реформы Александра I.
20. Отечественная война 1812 года: причины, ход событий, последствия.
21. Движение декабристов.
22. Россия в эпоху Николая I.

23. Отмена крепостного права в России. Эпоха «великих реформ» во второй половине XIX века.
24. Пореформенная Россия (в 1860-90-ые гг.).
25. Россия в годы царствования Александра III.
26. Вклад российской культуры XIX века в мировую культуру.
27. Россия на рубеже XIX-XX веков. Первая русская революция.
28. Внешняя политика в конце XIX-начале XX века. Русско-японская война: причины, события, итоги.
29. Россия в 1907-1914 годах. Реформы П.А.Столыпина.
30. Участие России в I мировой войне: причины, роль восточного фронта, последствия.
31. 1917 год в России (основные события, их характер, значение).
32. Гражданская война в России: причины, этапы, последствия).
33. НЭП: мероприятия, итоги, значение.
34. Образование СССР: причины и принципы создания Союза.
35. СССР в 30-е годы. Сталинизм.
36. Внешняя политика СССР в 1920-30-е годы.
37. СССР во второй мировой войне (1939-1945 гг.). Власть и общество в годы ВОВ.
38. СССР в 1945-1953 гг. Кризис сталинизма.
39. СССР в период реформ второй половины 50-х-первой половины 60-х гг.
40. СССР в середине 1960-80 гг. Период застоя.
41. «Перестройка» в СССР (1985-1991 гг.). Причины несостоявшегося реформирования советского общества.
42. Распад СССР: причины и последствия. Становление новой российской государственности.
43. Современная Россия. 1991-2001 гг.
44. Эволюция внешней политики СССР в 1945-1991 гг. Россия в системе современных международных отношений (1991-2001 гг.).

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К СЕССИОННОМУ КОНТРОЛЮ (для студентов заочной формы обучения)

1. Методические рекомендации по изучению дисциплины:

Хотелось бы обратить ваше внимание на поэтапность изучения материала по истории Отечества для более эффективного его усвоения.

Прежде всего, студенты знакомятся с историей образования и развития древнерусского государства Киевская Русь. Далее в курсе рассматривается процесс объединения русских княжеств вокруг Москвы, освобождения страны от ига, развитие России в XVIII – начале XX вв., как империи. Завершает лекционный курс материал, посвященный истории советского государства, и изучается современное развитие Российской Федерации.

Для успешного освоения курса рекомендуется использовать научно-методический комплекс по данной дисциплине. Следует ознакомиться с такими его составляющими как словарь по дисциплине, содержание

основных рассматриваемых тем, список рекомендуемой литературы, планы семинарских занятий и вопросы для итогового контроля по предмету.

Эффективное освоение курса невозможно без активного использования рекомендуемой литературы. Обращаться к ней нужно как при разработке творческих и аналитических контрольных работ, так и для подготовки к итоговому контролю по дисциплине. При этом, желательно использование, как учебной литературы, так и трудов монографического характера и статей в профессиональной и иной прессе.

В качестве итогового контроля предусмотрен письменный экзамен по билетам. Для подготовки к нему необходимо использовать как лекционные, так и дополнительные материалы.

Курс имеет, прежде всего, теоретическую направленность.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ

Требования к выполнению тестовых заданий для студентов **очной формы обучения:**

Текущий контроль знаний по дисциплине «История России» студентов **очной формы** обучения осуществляется в тестовой форме.

Тестовое задание включает в себя вопросы по нескольким ключевым темам учебной программы по модулям: «История России с древнейших времен по XVII в.», «История России XVIII – XIX вв.», «История России XX в.».

Тестовые задания если студент дал не менее 80% правильных ответов считаются выполненными. Время выполнения тестовых заданий – 2 академических часа.

Требования к выполнению контрольных работ для студентов **заочной формы обучения:**

Рубежный контроль знаний по дисциплине студентов **заочной формы** обучения проводится в форме письменной контрольной работы.

1. Контрольная работа выполняется по одной из предложенных тем. Темы работ приведены в разделе IX. «Методических рекомендациях по подготовке к сессионному контролю (для студентов заочной формы обучения)».
2. Объем работы не должен превышать 25 страниц печатного текста. На титульном листе необходимо обозначить тему работы, фамилию студента и номер его группы. Подробные рекомендации к оформлению контрольных работ – см. раздел IX.
3. Работа должна быть написана самостоятельно по материалам прочитанных источников. Цитирование допускается только в том случае, если указывается цитируемый источник.
4. Допускается использование литературы, не указанной в списке литературы к контрольным работам. Особое внимание надо обратить на новую литературу, вышедшую из печати за последние 5-7 лет.

Контрольные работы **оцениваются по пятибалльной шкале.**

Студенты, получившие оценку *«неудовлетворительно», обязаны повторно пройти процедуру рубежного контроля,* написав аналогичную работу по другой теме.

XI. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Дифференцированный зачет или экзамен по дисциплине как продолжение учебно-познавательного процесса является одной из форм его контроля и методом определения качества знаний, умений и навыков студентов, причем по всему учебному курсу.

Письменный экзамен, с одной стороны, способствует развитию «западающих» элементов культуры мышления, с другой, расширяет возможности информационно-коммуникационного взаимодействия. Студент получает больше возможностей для целостного изложения и аргументации своего понимания изученного материала. Кроме того, письменный текст наиболее адекватно отражает умение логично мыслить и в соответствии с проблемой выстраивать его содержание.

Условия допуска к экзамену:

Студенты **очной формы обучения** допускаются к сдаче экзамена по дисциплине при условии выполнения **следующих требований**:

- посещение семинарских занятий;
- выполнение тестовых заданий;
- подготовка докладов и сообщений;
- выполнение проверочных работ.

Студенты **заочной формы обучения** допускаются к сдаче экзамена по дисциплине при условии выполнения **следующих требований**:

- выполнение плановой контрольной работы.

Форма и содержание экзамена:

Э

к

з

а

м Подробнее, что включает в себя экзамен – см. «Методические

р рекомендации по организации самостоятельной работы студентов».

н На подготовку по билету студенту, как правило, выделяется не более 30 минут.

п **Критерии оценивания:**

р Оценка за экзамен выставляется с учетом выполнения студентом

т теоретической (по билету) и практической (по карте) части по пятибалльной

в системе. По теоретической части экзамена студенту могут быть заданы

у уточняющие вопросы (на правильность понимания терминов, логики

д причинно-следственных связей). По практической части экзамена студент,

и если потребуется, должен показать и рассказать по карте события и военные

д действия по теме билета.

с

я

в

На экзамене выставляются:

- оценка «отлично» - если студент ответил на два вопроса билета и дополнительный вопрос;
- оценка «хорошо» - если студент ответил на два вопроса, но не ответил на дополнительный вопрос;
- оценка «удовлетворительно» - если студент ответил на один вопрос билета и дополнительный вопрос.

X
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Апальков В.С. История Отечества / В.С. Апальков, И.М. Миняева: учебное пособие.- 2-е изд., испр. и доп. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2010. – 544с.

2. История России для технических вузов: учебник для бакалавров / под ред. М.Н. Зуева, А.А. Чернобаева. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 639 с . Серия Бакалавр. Базовый курс.

3. История России с древнейших времен и до наших дней: учебник / А.Н. Сахаров, А.Н. Боханов, В.А. Шестаков; под ред. А.Н. Сахарова. – Москва: Проспект, 2015. – 768 с.

4. История России (IX – начало XXI вв.): учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. А.Ю. Дворниченко, В.С. Измозика. – М.: Гардарики, 2010. – 479с.

История России с древнейших времен до наших дней: учебник / В.А. Федоров, В.И. Моряков, Ю.А. Щетинов. – М.: ТК Велби, ЗАО «КноРус», 2010. – 544с.

. История России. XX век: 1939-2007 / под ред. А.Б. Зубова. – М.: Астрель: АСТ, 2011. - 847 с.

. История России в схемах: учебное пособие / А.С. Орлов, В.А. Георгиев, Н.Г. Георгиева, Т.А. Сивохина. – М., 2014. – 304 с.

. Кириллов В.В. учеб. пособие для бакалавров / В.В. Кириллов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 665 с. – Серия: Бакалавр. Базовый курс.

. Мунчаев Ш.М. Политическая история России. От Смутного времени до Беловежской Пущи / Ш.М. Мунчаев, В. М. Устинов. – 2-е изд. , пересмотр. – М.: Норма, 2009. - 736 с.

. Орлов А.С., Георгиев В.А., Георгиева Н.Г., Сивохина Т.А. История России. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Проспект, 2015. - 680 с.

Орлов А.С., Георгиева Н.Г., Георгиев В.А. Исторический словарь. – 2-е изд.. Москва:Проспект, 2015. – 592 с.

. Оськин М.В. История Первой мировой войны. - М.: ООО «Издательский дом «Вече», 2014. – 496 с.

. Семин В.П. История России: учебник / В.П. Семин. – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 440 с. – (Бакалавриат).

14. Семин В.П. История России: проблемы и вопросы: учебное пособие / В.П. Семин, М.В. Шадская. – М.: КНОРУС, 2015. – 654 с.(Бакалавриат).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов Е.В. История России от Рюрика до Путина. Люди. События. Даты. – СПб.: Питер, 2008.- 588с.

2. Анисимов Е.В. Императорская Россия. – СПб.: Питер, 2012. – 640 с.

. Артемов В.В. История Отечества: С древнейших времен до наших дней: учебник для студ. сред. проф. учеб. заведений / В.В. Артемов, Ю.Н. Лубченков. – 14-е изд, стер. - М.: Издат. центр «Академия», 2010. – 360с.

. Басовская Н.И. Антигерои истории. Злодеи. Тираны. Предатели / Н. Басовская. – М.: АСТ, 2013.

Бок М.П. П.А. Столыпин: Воспоминания о моем отце / М.П. Бок. – М., 2006.

Будницкий О.В. Терроризм в российском освободительном движении: идеология, этика, психология (вторая половина XIX - начало XX вв.) / О.В. Будницкий. – М., 2000.

В поисках теории российской цивилизации: памяти А.С. Ахиезера: сборник / Сост. А.П. Давыдов. – М.: Новый хронограф, 2009. – 400с.

Вернадский Г.В. Русская история: учебник. - М., 2001.

. Верт Н. История Советского государства: 1900-1991. - М.: ИНФРА-М; Весь мир, 2003. – 544с.

Гумилев Л.Н. От Руси до России. - М., 2006.

. Гуц А.К. Многовариантная история России. - М., СПб; 2001.

Данилов А.А. История России с древнейших времен до наших дней в вопросах и ответах: Учебное пособие. - М.: ТК Велби, Из-во Проспект, 2004.- 320с.

. Деревянко А.П. История России: с древнейших времен до конца XX в. - М.,

. Дворниченко А.Ю. Отечественная история (до 1917 г.): учебное пособие для студ. вузов. - М., 2005.

Дойчер И. Троцкий. Вооруженный пророк. 1879 – 1921 / И. Дойчер (пер. с англ. Т.М. Шумиловой). – М., 2006.

. Загладин Н.В., Козленко С.И. История Отечества XX- начала XXI вв. - М.,

. Золотарев В.А. Военная история. - М., 2001.

. Игнатов В.Д. Палачи и казни в истории России и СССР / В.Д. Игнатов. – М.: Вече, 2013.

История России / Под ред. А.С. Орлова, В.А. Георгиева. - М., 2003.

. История России: учебник / Под ред. В.Г. Деева, Ю.И. Казанцева. - М.-Новосибирск, 2000.

Каменский А.Б. От Петра I до Павла I: Реформы в России XVIII в.: опыт целостного анализа / А.Б. Каменский. – М., 2001.

. Каррер А.Э. Екатерина II. Золотой век в истории России. - М., 2006.

. Кизеветтер А.А. Исторические очерки: из истории политических идей. Школа и просвещение. Русский город в XVIII в. Из истории России в XIX в. - М., 2006.

. Кириллов В.В. Отечественная история XX- начала XXI вв. - М., 2004.

Козляков В.Н. Марина Мнишек / В.Н. Козляков. – М., 2005.
Кульгин Э.С. Золотая Орда: проблемы генезиса Российского государства / Э.С. Кульгин. – М., 2006.
Личман Б.В. Многоконцептуальная история России. Пособие для абитуриентов. – Екатеринбург: Из-во «СВ-96», 2000.- 64с.
Лукьянов Л.П. Восточные славяне: разве это мы? Эволюция VI – X вв. / Л.П. Лукьянов. – М., 2004.
. Маринович Л.П. Античная и современная демократия: новые подходы к сопоставлению. - М., 2007.
. Медведев Ф. Н. О Сталине без истерик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013.
. Миллер А.И. Империя Романовых и национализм: эссе по методологии исторического исследования. - М., 2006.
. Мотревич В.П. Экономическая история России: учебное пособие. - Екатеринбург, 2004.
М
у НЭП: экономические, политические и социокультурные аспекты / А.
к Сенявский, В.Б. Жиромская, С.В. Журавлев и др. – М.: РОССПЭН, 2006. –
а 544с.
м Озерский В.В. Правители России от Рюрика до Путина. История в
п портретах. Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 352с.
д Ольштынский Л.И. Угроза фашистского мирового господства: история и
и современность (взгляд из XXI в.). - М., 2003.
н Павленко Н.И., Андреев И.Л. История России с древнейших времен до
к конца XVII в. - М., 2001.
. Павленко Н.И., Ляшенко Л.М., Твардовская В.А. История России XVII –
XIX вв. - М., 2001.
Патриарх Никон: трагедия русского раскола (сборник) / Составители В.И. Мельник, И.М. Стрижова. – М., 2006.
О Платонов С.Ф. Полный курс лекций по русской истории. - СПб., 2001.
т Пути России. Историзация социального опыта / Том XVIII. – Новое
п литературное обозрение, 2013.
ч Россия, Польша, Германия: история и современность европейского единства
в в идеологии, политике и культуре / Сост. Б.В. Носов. - М.: Индрик, 2009. –
с 368с.
С Савицкий В.Д. Три века российского самовластия: сомнения, недоумения,
к коррективы – СПб., 2004.
е Свердлов М.Б. Домонгольская Русь: князь и княжеская власть на Руси VI –
н первой трети XIII вв. – СПб., 2003.
н Семин С.В. Русская история: проблемы и спорные вопросы: Учебное
и пособие для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 653с.
я Синелина Ю.Ю. Секуляризация в социальной истории России. - М., 2004.
Скрынников Р.Г. Иван III / Р.Г. Скрынников. – М., 2006.
и Скрынников Р.Г. Минин и Пожарский. - М., 2007.
с Соколов А.В. Интеллигенты и интеллектуалы в российской истории. – СПб.:
т Из-во СПб ГУП, 2007. – 344с.
о
р
и
я

. Соколофф Ж. Бедная держава: История России с 1815 года до наших дней / Пер. с фр. Н.Ю. Панина. – М.: Изд. Дом ГУ ВШЭ, 2008. – 882с.
. Степанищев А.Т. История России IX-XVII веков: от российской государственности до Российской империи: учеб. пособие. – М.: КомКнига, 2007. – 584с.
. Троцкий Л. Сталин. Красный «царь» / Л. Троцкий, И. Дойчер, Т. Клифф. – М.: Алгоритм, 2013.
Федоров В.А. История России с древнейших времен до наших дней. - М.,

Человек-Общество-Армия-Война: сборник докладов на XXIII Военно-научной конференции 23 окт. 2008 г. – Екатеринбург: ГУ, 2008. – 232с.
Эйдельман Н.Я. Твой девятнадцатый век / Н.Я. Эйдельман. – М., 2006.
Экштут С.А. Александр I. Его сподвижники. Декабристы: в поиске исторической альтернативы / С.А. Экштут. – СПб., 2004.
Юрьевская Е.М. Александр II / Е.М. Юрьевская. – М., 2004.
. Яковер Л.Б. История России. - М., 2002.

ИСТОЧНИКИ

1. Восстание декабристов. Документы. Т.1-18. - М.; Л., 1925-1986.

2. Законодательные акты Русского государства втор. пол. XVI – перв. пол. XVII в. - Л., 1986.

3. Кушнир А.Г. Хроноскоп: летопись фактов и событий отечественной истории за два тысячелетия от Рождества Христова. - М., 2003.

4. Шмидт С.О. Памятники письменности в культуре познания истории России. Т.1. Допетровская Русь. - М., 2007.

5. Памятники русского права. Вып. 1-8. - М., 1953-1961.

6. Печенев В.А. «Смутное время» в новейшей истории России (1985 – 2003 гг.): исторические свидетельства и размышления участника событий. - М., 2004.

7. Полное собрание русских летописей. Т.1-39. - СПб.; М.; Л., 1841-1990.

8. Программы политических партий России конец XIX – первая половина XX вв. - М., 1995.

9. Российское законодательство с древнейших времен до начала XX в. Т.1-6. - М., 1984-1988.

10. Русская православная церковь в советское время (1917-1991 гг.) / Сост. Г.Штриккер. Кн. 1-2. - М., 1995.

11. Соловьев С.М. Публичные чтения по истории России. - М., 2005.

12. Сталинское Политбюро в 1930-е годы. Сборник документов. - М.,

13. Хрестоматия по отечественной истории. 1914-1945 гг. / Под ред. А.Ф.Киселева, Э.М.Щагина. - М., 1996.

14. Хрестоматия по отечественной истории. 1946 - 1994 гг. / Под ред. А.Ф.Киселева, Э.М.Щагина. - М., 1996.

4. СЛОВАРИ, СПРАВОЧНИКИ

1. Государственность России: словарь-справочник. - М., 1996.
Данилов А.А. История России IX-XIX вв.: справочные материалы. - М., 1997.
3. История России: тысячелетие дипломатии и войн. Вып.1-2. - Екатеринбург, 1995.
Похлебкин В.В. Внешняя политика Руси, России и СССР за 1000 лет в именах, датах и фактах. Справочник. Вып. 1-3. - М., 1992.
Похлебкин В.В. Татары и Русь. 360 лет отношений Руси с татарскими государствами в XIII – XIVвв. 1238-1598 гг. (от битвы на р. Сить до покорения Сибири): Справочник / В.В. Похлебкин. – М., 2005.
Политические партии России конец XIX – первая половина XX вв. Энциклопедия. - М., 1995.
Политические деятели России 1917 г. Биографический словарь. - М., 1993.

5. ВЕБ-РЕСУРСЫ

1.Хрестоматия электронных текстов на сайте «Заметки на полях»

2.Библиотека электронных ресурсов на сервере исторического факультета M

3.История. Приложение к газете «Первое сентября» (http://www. I September. ra./ru/his. htm).

4.Российский электронный журнал «Мир истории» (http://www. tellur. ra./~ t

5.Журнал «Новая и новейшая история» (http://www. bitpro. ru/CATOLOG/).

6.Материалы Независимого теоретического семинара "Социокультурная методология анализа российского общества". Ряд материалов посвящен различным аспектам истории России и ее культуры (http://scd. plus, centre ru/).

7.Алтайский региональный исторический сервер: виртуальный читальный зал, ресурсы, ссылки (http://hist. den-asu. ra/sourses. shtml).

8."Сибирская Заимка". Сервер посвящен истории Сибири: опубликованные научно-популярные, научные работы, касающиеся с

9.Сервер об истории и устройстве Русской православной церкви h

t 10.Коллекции ссылок на исторические ресурсы в сети Интернет:

на сервере исторического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова (http://www. hist. msu. ru. /Links/ worldu.htm).

на Алтайском историческом научно-образовательном сервере Ассоциации «

И на сервере издательства «Клио» (http:// www. history. ru/hist. htm).

с

т

о

XIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Демонстрационные / иллюстративные материалы

и - карты и атласы по Отечественной истории;

я - учебники и учебные пособия;

- раздаточные материалы для дискуссий, организации дебатов,

и

к

о

тестирования;
- мел, доска.

2. Технические средства

- компьютерная техника, мультимедийное оборудование:
1) экран;
мультимедийный проектор проектор;
3) ноутбук (или персональный компьютер);
4) колонки, микрофон.

Приложение1.

Тема 2. СЛАВЯНСКИЙ ЭТНОГЕНЕЗ

- Теории энтогенеза восточных славян
- Природные условия и территория расселения восточных славян
- Экономическое развитие и общественный строй восточных славян
- Обычаи, нравы и верования восточнославянского этноса

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Этногенез — весь процесс существования и развития этнической системы от момента ее возникновения до исчезновения. Существует множество концепций происхождения и прародины славян, среди них ведущие позиции занимают: миграционная (пришли на Восточно-Европейскую равнину): а) «дунайская» (С.М. Соловьев, В.О. Ключевский), б) «прибалтийская» (М.В. Ломоносов, А.Г. Кузьмин); автохтонная - славяне как

этнос сформировались на территории Восточно-Европейской равнины и являлись исконным населением (Б.А. Рыбаков); 3) одерско-висловская — прародиной славян считается территория между Одером и Вислой; одерско-днепровская - район между Одером и Средним Днепром (М.С. Шумилов, С.П. Рябикин).

2. Праславяне принадлежали к Древнему индоевропейскому единству, сложившемуся в V—IV вв. до н.э. в северо-восточной части Балкан и на территории Малой Азии. На рубеже III—II вв. до н.э. на основе развития в Евразии пастбищного скотоводства индоевропейские племена в поисках пастбищ ушли в Среднюю Азию и Северную Индию. Формируются этнографические группы: кельтская, германская, романская (славянская), греческая, иранская, балтийская. Появление славян как самостоятельного этноса датируется I в. до н.э, В античных источниках в первом веке нашей эры славян знали под именами «антов» и «венедов». С VI в. н.э. закрепился термин — «славяне». В ходе Великого переселения народов, проходившего в III—VII вв., славяне, осваивая различные территории, разделились на три ветви: западную (поляки, чехи, словаки и др.), южную (болгары, сербы, хорваты и др.) и восточную (белорусские, русские и украинские народы). Восточные славяне в VI—VII вв. заняли территорию: с севера на юг — от Невы и Ладожского озера до Среднего Приднепровья и с запада на восток — от Карпатских гор до Средней Оки и верховьев Дона.

3. Климат в средней полосе Восточно-Европейской равнины был континентальный. Вся жизнедеятельность людей была связана с лесом. Его использовали как строительный материал, топливо, для изготовления домашней утвари. Не менее благоприятное влияние на жизнь людей оказывали реки. Они служили средством общения между племенами, снабжали людей рыбой для еды и обмена. По берегам рек шло расселение славянских племен, строились поселения, в дальнейшем города. Речные пути приобретали и международное значение: с VI в. появился водный торговый путь «из варяг в греки», позволявший торговать восточным славянам с Византией, другой путь, «из варяг в персы», служил сообщением с волжскими болгарами, Хазарским каганатом и далее — со Средней Азией и арабским миром.

4. Восточные славяне делились на племенные союзы, и местами их расселения были: по западному берегу Днепра и реке Рось жили поляне; на запад от них по Припяти селились древляне, а севернее — дреговичи; по Оке — вятичи; вокруг озера Ильмень — ильменские словене; по реке Сож — радимичи; в верховьях Волги, Днепра, Западной Двины — кривичи; по среднему течению реки Днепр и по реке Десна — северяне.

5. Основными занятиями славян были охота, рыболовство, скотоводство, бортничество. Позже славяне начали заниматься земледелием. Существовало две системы земледелия: на юге, где была лесостепь, — перелог; на севере, где росли непроходимые леса, в основном была подсечно-огневая.

6. Во главе каждого племени или рода у восточных славян стоял

старейшина. Существовал совет старейшин, где обсуждались различные вопросы, а также общее собрание рода или племени — вече. Верховным судьей и предводителем войска был князь. Ему подчинялись военные люди, составлявшие княжескую дружину. Такое управление позже получит название военной демократии.

7. По своим верованиям древние славяне были язычниками. Они поклонялись явлениям природы, обожествляя их. У восточных славян были свои языческие праздники, связанные с временами года и земледельческими работами (Масленица, I праздник Ивана Купалы, праздник урожая и т.д.). Известно, что у славян довольно долго сохранялся закон кровной мести.

Тема 3. КИЕВСКАЯ РУСЬ В IX-XII ВВ. РУСЬ В ЭПОХУ ФЕОДАЛЬНОЙ РАЗДРОБЛЕННОСТИ. БОРЬБА РУССКИХ ЗЕМЕЛЬ С ВНЕШНИМИ ВТОРЖЕНИЯМИ

- Киевская Русь: социально-экономическое, политическое и культурное развитие (IX- начал. XII вв.)
- Эпоха феодальной раздробленности на Руси. Основные политические центры (XII-XIII вв.)
- Борьба с иноземными нашествиями в XIIIв.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Возникновение русского государства имело ряд особенностей, связанных с географическим положением его меж Европой и Азией и неимением естественных географически раниц, а также необходимостью совместной защиты живущих здесь племен от внешних врагов, которая сплачивала их и заставляла создавать сильную государственную власть.

2. Вопрос о происхождении государственности на Руси до сегодняшнего дня остается спорным в среде историков. В XVIII в. немецкие ученые на русской службе Г.З. Байер, Г.Ф. Миллер разработали норманнскую теорию, согласно которой государство на Руси было создано норманнами (варягами). Против этой концепции выступил М.В. Ломоносов, положив начало полемике между норманистами и антинорманистами, которая 1родолжается уже более двух столетий.

3. Историки делят историю Киевской Руси на три периода:

- первый - период становления Древней Руси при первых князьях Рюриковичах (вторая половина IX - последняя треть X вв.);
- второй - период расцвета Киевской Руси при Владимире I и Ярославе Мудром (конец X - первая половина XI вв.);
- третий — период начала территориальной и политической раздробленности Древнерусского государства и его распада (вторая половина

XI — Первая треть XII вв.).

4. Перед киевскими князьями стояло несколько задач:
1) объединение восточных славян под властью Киева; 2) укрепление государства и распространение своей власти внутри страны; 3) торговля с Византией; 4) борьба со степными кочевниками: хазарами, печенегами, половцами.

5. Первые князья Киевской Руси: Рюрик, Олег, Игорь, Ольга — настойчиво расширяли свои владения, подчиняли себе восточнославянские племена, сменяя местных племенных князей на присланных наместников из Киева. Новгородские бояре в 862 г. пригласили княжить в Новгород Рюрика — начальника отряда варягов, который положил начало династии Рюриковичей. В 882 г князь Олег захватил Киев, тем самым объединив северные и южные племенные союзы. Киев назвал «матерью городов русских». Олег стал великим киевским князем. В 907 г. в результате успешного похода князя Олега на Царь град были урегулированы отношения между Русью и Византией. Князь Игорь предпринимает два похода на Византию и заключает договор о мире, торговле и взаимной помощи, обеспечивает беспрепятственную торговлю в Царь граде. В 945 г. при попытке повторного сбора дани с древлян был убит. Его вдова княгиня Ольга отомстила за смерть мужа, навела порядок в русских землях, ввела законы налогового права «уроки и погосты», в конце жизни посетила Царь град и крестилась там в православие. Ее сын князь Святослав, выдающийся древнерусский полководец, предпринял ряд удачных походов: разбил хазар, затем волжских булгар, подчинил вятичей; но вел неудачную войну с Византией, был убит печенегами.

6. Сын Святослава — Владимир Красное Солнышко — стал объединителем всех земель восточных славян в состав Киевской Руси. Он организовал надежную систему обороны ее степных границ от кочевников. В годы его правления Русь принимает христианство (988 г.). После смерти Владимира начались междоусобные войны его сыновей. Пасынок Владимира Святополк Окаянный убил своих братьев Бориса, Глеба и Святослава, захватил Киев, но старший из братьев, Ярослав, наместник Новгорода, победил Святополка и стал великим киевским князем.

При Ярославе Мудром Киевская Русь достигла вершины своего могущества. Ему подчинялись земли от Черного моря до Баренцева. Он разбил печенегов, укрепил международные связи при помощи политических браков с такими странами, как Швеция, Норвегия, Польша, Франция, Византия. В годы его правления появился первый свод русского законодательства Русская Правда. Происходит культурный расцвет русского государства.

7. После смерти Ярослава Мудрого наследники не смогли сохранить единство русской земли. Раздоры князей, половецкие набеги, волнения горожан заставили киевскую знать в начале XII в. призвать на княжение внука Ярослава Мудрого - Владимира Всеволодовича Мономаха. Он совершил успешный поход на половцев, восстановил на короткий срок

единство русских земель, создав союз князей под руководством великого киевского князя. Его сын Мстислав на короткий период удерживает относительную целостность Руси. Но после его смерти Русь начинает распадаться на самостоятельные княжества и земли.

8. В IX—XIII вв. основной сферой хозяйственной деятельности в Древней Руси было земледелие. Большое развитие получили города как центры ремесла и торговли. В X-XI вв. доминировала государственная собственность на землю, которая позволяла киевским князьям взимать дань с подвластного населения. Во второй половине XI в. в различных русских землях возникло частное землевладение — княжеские, боярские и монастырские вотчины.

9. Русь в X—XII вв. представляла собой раннефеодальную монархию с великим князем во главе. При князе состояли дружинники, ведавшие сбором дани, судом. В городах назначались князем посадские и воеводы. Вассалами князя являлись его родственники, правители удельных земель. Феодалы платили князю дань, но своими вотчинами распоряжались самостоятельно. Основными социальными категориями этого периода являлись: высшие классы - князья, бояре и другие собственники больших земельных имений, богатые купцы в городах; средний класс — купцы и мастера - ремесленники (в городах), владельцы средних и небольших имений (в сельской местности); низшие классы - беднейшие ремесленники и крестьяне, заселявшие государственные земли. Кроме свободных людей, в Киевской Руси существовали также полусвободные (закупы, рядовичи) и невольники (холопы, челядь).

10. Во второй трети XII в. (1132 г.) на Руси начался длившийся до конца XV в. период феодальной раздробленности. Причинами ее были: 1) ослабление власти киевских князей и укрепление власти феодалов на местах, в результате роста крупных землевладений; 2) отсутствие прочных экономических связей между областями: не было общего рынка, господствовало натуральное, феодально-вотчинное хозяйство; 3) отсутствие серьезной внешней угрозы для всей восточнославянской общности.

11. Политическими наследниками Киевской Руси стали 15 крупных княжеств и феодальных республик. Наиболее значительными были Владимиро-Суздальское княжество, Новгородская боярская республика и Галицко-Волынская земля - три политических центра, имевших огромное влияние на развитие соседних с ними земель. Своеобразный уклад общественной и политической жизни образовался в Новгородской земле. Власть в Новгороде фактически принадлежала богатому боярству. Оно держало в руках городское собрание свободных граждан — вече. Вече избирало из числа бояр посадника, тысяцкого, командовавшего народным ополчением, архиепископа, ведавшего казной и внешними отношениями. Новгородская боярская республика была огромным государством, занимавшим территорию от Верхней Волги до Балтийского и Белого морей, просуществовала около трех с половиной столетий.

12. Последствия феодальной раздробленности имеют как знак плюс,

так и знак минус. За годы феодальной раздробленности происходило развитие политической, экономической, культурной жизни русских земель. Но княжеские усобицы, постоянное дробление княжеств между наследниками, разрушительные войны ослабили обороноспособность и политическое единство страны.

13. Раздробленная на обособленные княжества Русь не смогла собрать достаточно сил для отпора татаро-монголов. В конце XII — начале XIII вв. в Центральной Азии возникло монгольское государство, возглавил его Темучин, который в 1206 г. был провозглашен великим ханом под именем Чингисхан. Армия монголов под его руководством начала завоевательные походы. В 1223 г. на реке Калке произошло первое столкновение русских войск совместно с половцами с монгольским войском, где объединенные войска потерпели поражение. Внук Чингисхана Батый в 1237 г. начал покорение Северо-Восточной Руси. В 1238 г. были завоеваны: Рязань, Коломна, Москва, Ростов, Ярославль, Тверь, Юрьев; в 1239 г. — города Переславль и Чернигов, в 1240 г. пал Киев, захвачена Галицко-Волынская земля. В 1242 г. на Нижней Волге возникла Золотая Орда - мощное татаро-монгольское государство, в состав которого вошли завоеванные русские земли, где Батый и его преемники частично сохранили систему управления, сложившуюся до нашествия.

14. Практически одновременно с нашествием татаро-монголов на южные русские княжества шведские корабли вошли в устье реки Невы с целью захвата Новгорода и Пскова и насаждения католической веры. 15 июля 1240 г. князь Александр Ярославич выигрывает сражение над шведами на Неве, за что получает прозвище Невский. Вслед за шведами на русские земли нападают объединенные силы Ливонского ордена при поддержке датских и немецких рыцарей и захватывают город Изборск, а затем и Псков. В 1242 г. Александр Невский освобождает эти города. Решающая битва между новгородским войском и силами Ливонского ордена состоялась 5 апреля 1242 г. на Чудском озере. Рыцарское войско потерпело сокрушительное поражение. В результате было остановлено наступление рыцарей на Северо-Западную Русь.

15. Татаро-монгольское иго (1240—1480) — это сложная система, главной целью которой было использование военного и экономического потенциала Руси в интересах Золотой Орды. Оно характеризовалось: в экономической сфере — ежегодной выплатой огромной дани татаро-монголам: в политической — жестким контролем Орды за деятельностью русских князей при помощи выдачи ярлыков на княжение; в культурной — принудительным использованием русских мастеров для строительства и укрепления городов Золотой Орды, расхищения татарами материальных и художественных ценностей, веками накопленных в русских городах.

16. Татаро-монгольское иго привело к длительному упадку в культурной, хозяйственной жизни русского общества, политической зависимости Северо-Восточной Руси от Золотой Орды, искусственно изолировав эти земли от западного мира и Византии. Возможности влияния

греческой православной цивилизации на Русь резко уменьшились, но воспринятые ранее традиции уже укоренились в восточнославянском церковном быту и развивались на новой почве. Власть Орды создавала серьезные проблемы для русского общества, уродливо деформируя многие государственные структуры. Однако постепенно стали складываться объединительные тенденции в русских княжествах.

Тема 4. СКЛАДЫВАНИЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВА В XIV-XVI ВВ.

- Предпосылки образования единого русского государства
- Объединение русских земель вокруг Москвы. Начало государственной и политической централизации (XTV - начало XV вв.)
- Образование российского государства (конец XV - начало XVI вв.)
- Российское государство в XVI веке. Иван Грозный

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Предпосылками объединения русских земель в единое государство были: развитие феодального землевладения; стремление бояр приобретать вотчины за пределами своих княжеств; укрепление на Руси власти и лидерства московских князей; наличие обшей официальной религии — православия во всех русских землях; необходимость освобождения от ордынского ига.

2. Причинами возвышения Московского княжества как центра объединения русских земель являлись: личностные качества первых московских князей, их политическая ловкость и хозяйственность; выгодное географическое положение, давшее приток населения, торговые и политические преимущества; поддержка со стороны Церкви и перенос центра русского православия из Владимира в Москву; содействие Орды; получение ярлыков на княжение (с Ивана Калиты — на великое княжение).

3. Возвышение Московского княжества происходило в самом начале XIV в. Оно связано с именем младшего сына Александра Невского князя Даниила Александровича, который получил в удел небольшой городок Москву, явился основателем династии московских князей. При князе Даниле началось постепенное расширение Московского княжества. В его состав вошли; отвоеванная у рязанского князя Коломна, присоединенный Можайск, земли Переяславского княжества. В результате территория Московскою княжества увеличилась почти в 2 раза.

4. Основы политического и экономического могущества Москвы были заложены при сыне князя Даниила - Иване Данииловиче (1325—1340) по прозвищу Калита. При нем борьба Москвы и Твери за великокняжеский престол завершается победой Московского княжества. Иван Даниилович, разгромив восстание в Твери, получил ярлык на великое княжение. В годы

его правления митрополичья кафедра была перенесена из Владимира в Москву, тем самым Москва стала религиозным и идеологическим центром Руси. Иван Калита добился необходимой передышки от ордынских вторжений, давшей возможность поднять экономику и накопить силы для борьбы с татаро-монголами, получил право сбора дани с русских княжеств и доставки ее в Орду, значительно расширил свои владения (подчинил княжества: Галичское, Угличское, Белоозерское).

5. Дальнейшее усиление Московского княжества происходит при внуке Ивана Калиты — князе Дмитрии Ивановиче по прозвищу Донской (1359—1389). В годы его правления соотношение сил на Руси изменилось в пользу Москвы. Этому процессу способствовало следующее: построен всего за два года неприступный белокаменный Кремль Москвы — единственная каменная крепость на территории Северо-Восточной Руси; отбиты притязания на общерусское лидерство Нижнего Новгорода, Твери, отражены походы литовского князя Ольгерда; в 1378 г. на реке Воже объединенными русскими силами были разбиты монголы. С этого времени борьба против Орды приняла характер организованных военных сражений. Решающее сражение произошло летом 1380 г., когда хан Мамай, заключив союз с литовским князем, выступил против русских. Дмитрий Иванович, получив благословение игумена Троицкой обители Сергия Радонежского и поддержку православной церкви, на Куликовом поле разбил войска Орды. Это было первым шагом обретения Русью национальной независимости. Однако Москва была снова разорена в 1382 г. Тохтамышем и вынуждена платить дань. Перед смертью Дмитрий Донской передал великое княжество Владимирское своему сыну Василию (1389—1425) по завещанию как отчину московских князей, не спрашивая права на ярлык в Орде. Это стало началом нового этапа отношений между Ордой и зависимой пока Русью.

6. Василий I сумел упрочить положение Москвы как центра русских земель. Он присоединил Нижегородское, Муромское, Тарусское княжества, некоторые владения Великого Новгорода. I Подавляющая часть князей, еще сохранившая свой суверенитет, вынуждена была в той или иной мере подчиняться ему. В военных и дипломатических отношениях с Ордой и Литвой Василий I выступал уже от имени всей Северо-Восточной Руси.

7. После смерти Василия I процесс объединения русских земель был приостановлен ожесточенной феодальной войной, которая продолжалась с переменным успехом в течение 20 лет (1433—1453), принося разорение земель, упадок многих городов, ордынские набеги. Феодальная война закончилась победой сил централизации. Василий II Темный сумел победить и укрепить великокняжескую власть.

8. После смерти Василия II Темного московский престол занял его старший сын Иван Васильевич, ставший соправителем отца еще при его жизни. Именно ему выпало завершение процесса объединения русских земель и свержения золотоордынского ига. В правление Ивана III закончилось собирание земель под власть Москвы, были заложены основы российского самодержавия; укреплен государственный аппарат; повысился

престиж Москвы. В годы его правления были присоединены Великое Ярославское княжество (1463), Пермский край (1472 г.), Великое Ростовское княжество (1474), Новгород и его владения (1478), Великое княжество Тверское (1485), Вятская земля (1489). Великие и удельные князья отказались от верховных прав в своих владениях и перешли под политическое покровительство московского князя. Иван III стал именоваться государем всея Руси. В целом единое государство было создано и окончательно утвердило свою независимость, так как Иван III отказался ездить в Орду и посылать дань. Попытка хана Ахмата восстановить права Орды закончилась в 1480 г. стоянием на реке Угре и бегством татар.

9. Иван III расширил международные связи, установил дипломатические отношения с Германией, Венецией, Данией, Венгрией и Турцией, женился на Софье Палеолог, племяннице последнего византийского императора. Московский князь распоряжался землей, набирал себе войско. Высшим совещательным органом при государе становится Боярская дума. Представители князя распоряжались казной, командовали войсками, управляли областями. В 1497 г. для закрепления централизованной системы управления и суда на всей территории государства был издан свод законов - Судебник, который юридически подтвердил политический и социальный строи русского феодального государства. После падения Византии под ударом турок (1453) Москва стала ее преемницей. Россия была последним оплотом православия и способствовала определенной идеологизации верховной государственной власти. С XVI в. распространяется идея о Москве как о Третьем Риме, в котором тесно переплетаются религиозные и политические мотивы. Новое значение великого князя Московского отразилось на государственном праве. Иван III передал по наследству своему старшему сыну Василию целый ряд политических преимуществ. Василий III фактически завершил объединение Великороссии и превратил Московское княжество в национальное государство. Образовалась крупнейшая в Европе держава, которая с конца XV в. стала называться Россией.

10. Все XVI столетие шло стремительное расширение границ Российского государства. Вслед за Василием III, после регенства Елены Глинской (1533—1538) и боярского правления (1538-1547), политику собирания русских земель успешно проводил Иван IV Грозный (1547—1584). Несмотря на неудачную Ливонскую войну, в результате присоединения к Российскому государству Казанского ханства, Астраханского ханства, присоединения Башкирии, вхождения в состав России народов Западной Сибири, Россия стала одним из крупнейших государств в Европе и Азии.

11. После смерти Василия III идут годы боярского правления Лишь в 1547 г. 18-летний Иван Васильевич официально венчался на царствование. Начальный период его правления ознаменовался крупными внутри- и внешнеполитическими успехами.

12. Реформы Ивана IV 40—50-х гг. XVI в.: 1) при царе сложилась Избранная рада (князь Курбский, Алексей Адашев, митрополит Макарий и др.), которая разработала и провела множественные реформа центрального и

местного управления; 2) было создано всесословное высшее государственное учреждение — Земский собор — в противовес Боярской думе, где решались вопросы общегосударственного значения; 3) в 1550 г. был принят новый Судебник, ограничивший права наместников и впервые вводивший наказание за взяточничество; 4) изменилось центральное государственное управление - создана система специализированных приказов; 5) была реорганизована система местного управления; 6) проведена реформа налогообложения; 7)было организовано первое постоянное войско из стрельцов; 8) унифицирована денежная система. Таким образом, проведенная серия реформ повысила централизацию и эффективность управления, оформила государственный аппарат, который до этого времени носил черты великокняжеского правления.

13. В период 1565—1572 гг. политика Ивана IV получила название «опричнина». Государство было разделено на две части опричнину — особый государственный удел, где право подменялось произволом монарха, и земщину под управлением Боярской думы. Целями опричнины были: 1) установление неограниченной власти царя; 2) борьба с феодальной аристократией (самостоятельностью боярства); 3) ликвидация остатков феодальной раздробленности (удельных княжений, Новгородской вольницы). Опричнина привела к перераспределению земельных владений среди господствующих сословий и вылилась в массовый террор. Вначале он был направлен против аристократии, а затем против всех остальных слоев общества, и особенно городских. В целом задача, поставленная Иваном Грозным, — сломить сопротивление оппозиции, усилить власть царя - была решена. Опричнина объективно способствовала дальнейшей централизации государства. Но, с другой стороны, она имела губительные последствия для экономического и нравственного состояния общества: 1) экономический кризис в стране; 2) следствием сокращения посевных площадей стал голод (500 тыс. умерших); 3) опричнина, разорив крестьян и стимулировав их бегство, послужила одной из причин принятия первых закрепостительных актов. В 1581 г. был издан указ о заповедных годах, в котором запрещались переходы крестьян. Помещики, потеряв крестьян, пытались получить большой оброк с оставшихся; 4) подорваны резервы России в целом.

14. В конце жизни Ивана Грозного ожидала трагедия: вместе со смертью убитого им сына Ивана погибла надежда на достойного преемника на российском троне. Второй сын, Федор, был слабоумным, а третий — Дмитрий — родился лишь в 1582 г. Когда в 1584 г. Иван IV умер, царем был провозглашен Федор, при котором фактически правил Борис Годунов. А после трагической гибели царевича Дмитрия и смерти в 1598 г. бездетного Федора прекратилась династия Рюриковичей на Российском троне. Царем Земский собор избрал Бориса Годунова.

Тема 5. РУССКОЕ ГОСУДАРСТВО В XVII В.

- Смутное время (1598-1613)

- Социально-экономическое развитие России в XVII в.
- Формирование абсолютной монархии в России

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Смутное время (1598—1613) — это период глубокого социально-экономического, политического и духовного кризиса русского общества. Сначала династический кризис — пресечение династии Рюриковичей и борьба боярства за власть. Затем, как результат этой неразборчивой в средствах борьбы с привлечением русских авантюристов и иностранных наемников, — полная потеря государственной власти — государственный кризис. С ослаблением власти нарастал социальный кризис. Он выражался в многочисленных мятежах. В обществе действовал нравственный кризис.

2. Причинами Смуты, по мнению историков, являлись: 1) последствия опричнины Ивана Грозного; 2) стремление различных слоев общества улучшить свое сословное положение; 3) династический кризис; 4) падение нравственности; 5) неурожаи и голод 1,601-1603 гг.; 6) активность казачества в связи с попытками правительства подчинить казацкие земли; 7) иностранная интервенция.

3. Основные события Смутного времени можно разбить на три этапа: 1) 1598-1605 гг. — пресечение династии Рюриков, правление Бориса Годунова, неурожай и массовый голод в стране (1601—1603), нарастание социальной напряженности в России, воцарение Лжедмитрия I; 2) 1606—1610 гг. — царствование Василия Шуйского; крестьянское восстание под руководством И. Болотникова, начало польско-шведской интервенции, появление Лжедмитрия II (по прозвищу Тушинский вор); 3) 1610- 1613 гг. — правление Семибоярщины; действия первого и второго ополчений, освобождавших Москву от польских интервентов; установление новой династии Романовых

4. Последствием событий Смуты во внешней политике было восстановление территориального единства России, хотя часть русских земель оставалась за Речью Посполитой и Швецией. Во внутриполитической жизни государства: дальнейшее ослабление позиций боярства, могущество которого было подорвано в годы опричнины; возвышение дворянства, получившего новые поместья и возможности для окончательного закрепощения крестьян; тяжелые экономические потрясения, финансовые проблемы, что повлекло за собой закрепощение посадского и сельского населения; войны XVII в.

5. Основное значение Смуты состоит в том, что, в отличие от многих других гражданских войн во всемирной истории, она завершилась не установлением нового общественного строя, а восстановлением, реставрацией монархической государственности. В конкретных геополитических условиях того времени был избран путь дальнейшего развития России: самодержавие как форма политического правления, крепостное право как основа экономики, православие как идеология.

6. Несколько десятилетий понадобилось, чтобы преодолеть трагические последствия Смутного времени и вывести страну из кризиса. Восстановление экономики и изменения в ней происходили на фоне сильнейших социальных потрясений, не прекратившихся и после окончания Смуты. Медный, Чумной, Соляной бунты, другие городские восстания, выступления стрельцов, мощное движение под предводительством Степана Разина, выступления, связанные с церковной реформой и расколом, сопровождавшим «бунташный» XVII в. буквально на всем его протяжении: последняя дата в истории Московского государства — Стрелецкий бунт 1698 г.

7. В XVII в. происходил дальнейший рост феодальной земельной собственности, передел земель внутри господствующего класса. Новая династия Романовых, укрепляя свое положение, широко использовала раздачу земель дворянам. В центральных районах страны практически исчезло землевладение черносошных крестьян. Запустение центральных уездов в результате длительного кризиса и оттока населения на окраины явилось одной из причин усиления крепостного права.

8. В сентябре 1648 г. в Москве созван Земский собор, который выработал и принял новый Судебник — Соборное уложение (1649). Уложение закрепило статус, обязанности и привилегии основных сословий, отразило такую социальную тенденцию, как возрастание общественного веса и роль средних служилых слоев. Были расширены права поместных землевладельцев, дворяне получили право наследования поместья, могли обменивать поместья на вотчины. В Уложении по требованию дворян были включены статьи о запрещении расширения церковного землевладения. Одновременно, согласно Соборному уложению, крестьяне окончательно прикреплялись к земле, а посадское население — к посадам. Уложение явилось юридическим оформлением системы крепостничества.

9. В XVII в. наблюдалось перерастание ремесла в мелкотоварное производство. Дальнейшее развитие получили центры металлургии и металлообработки, текстильных изделий, солеварения, ювелирное дело. Все это подготовило базу для появления мануфактур. К концу века в России насчитывалось 30 мануфактур. Но до 90-х гг. XVII в. металлургия оставалась единственной отраслью, где действовали мануфактуры. Кроме частновладельческих мануфактур, основывались казенные, при поддержке государства. Поскольку в стране не было свободных рабочих рук, государство стало приписывать, а позднее разрешило заводам покупать крестьян. Возрастает роль купечества в жизни страны. Большое значение приобрели постоянно собиравшиеся ярмарки: Макарьевская (около Нижнего Новгорода), Свенская (в районе Брянска), Ирбитская (в Сибири), в Архангельске и др., — где купцы вели крупную по тем временам оптовую и розничную торговлю. Наряду с внутренней, росла и внешняя торговля. В XVII в. значительно расширился обмен товарами между отдельными регионами страны, что говорило о складывании всероссийского рынка. Началось слияние отдельных земель в единую экономическую систему.

10. В 1653 г. патриарх Никон, желая укрепить упавший авторитет

церкви, стал проводить реформу. Она началась с исправления богослужебных книг и унификации церковных обрядов. Предметом ожесточенных дискуссий, борьбы стала проблема выбора образцов для таких исправлений. Так Никон отстаивал греческие образцы, другая часть духовенства, во главе с протопопом Аввакумом, — древнерусские. Разлад среди духовенства стал предпосылкой церковного раскола в масштабах страны. Раскол русской церкви отразил в себе изменения, произошедшие в духовной сфере. Общество разделилось на приверженцев новизны и почитателей старины. Реформа русской православной церкви создала духовную основу для прозападных преобразований, которые не замедлили последовать в конце XVII — начале XVIII вв.

11. В последней четверти XVII в. в политическом строе страны отчетливо выступают тенденции оформления абсолютизма: 1) в Соборном уложении была узаконена неограниченная власть самодержца, а также укреплена его победа над церковью, которая до этого времени претендовала на самостоятельную политическую роль; 2) роль Боярской думы и Земских соборов падает: последний Земский собор собирался в 1653 г.; из состава Боярской думы выделились Ближняя дума и Расправная палата, решавшие текучие судебные и административные дела; Алексей Михайлович, не желая зависеть от Боярской думы и руководства приказов, создал личную канцелярию — приказ Тайных дел (он стоял выше всех остальных, так как мог вмешиваться в дела всех государственных учреждений); 3) местничество постепенно отошло в прошлое. Все чаще на важные государственные посты назначили «худородных людей».

12. Внешнеполитический курс России на протяжении XVII в. был нацелен на решение следующих задач: 1) достижение выхода к Балтийскому морю; 2) обеспечение безопасности южных границ от набегов Крымского ханства; 3) возвращение отторгнутых в период Смутного времени территорий; 4) освоение Сибири и Дальнего Востока. Первая задача не была достигнута. Попытка России овладеть побережьем Финского залива в ходе Русско-Шведской войны (1656 - 1658) закончилась неудачно. Вторая задача стала главной во внешней политике России с начала 1670-х гг. Закончившаяся в 1681 г. Русско-Турецко-Крымская война (1676—1681) завершилась признанием права России на Киевские земли. Третья задача решалась Россией на протяжении 1630—1660 гг. Сопровождалась как неудачами в ходе Смоленской войны (1632—1634), так и победами русского оружия на фоне народных восстаний в Белоруссии и на Украине против польских феодалов. Земский собор 1653 г. принимает решение о воссоединении Украины с Россией. В свою очередь Переяславская рада в 1654 г. единодушно высказалась за вхождение Украины в состав России. Начавшаяся война с Речью Посполитой продолжалась 13 лет (1654—1667) и закончилась подписанием «Вечного мира» в 1686 г., по которому к России отошли Смоленщина, Левобережная Украина и Киев. Белоруссия оставалась в составе Польши. Четвертая задача решалась за счет освоения русскими окраин государства и новых земель: была освоена Восточная Сибирь,

Чукотка, Камчатка; Приамурье вошло в состав России.

Тема 6. РОССИЯ В XVIII В.

- Модернизация России в правление Петра I
- Эпоха дворцовых переворотов
- Дворянская империя в 60-90-е гг. XVIII в.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Несмотря на обозначившуюся тенденцию европеизации России в XVII в., в целом она значительно отставала от уровня развития европейских государств. Архаичная политическая, финансовая и военная система Российского государства не позволяла добиваться ощутимых результатов. Для того чтобы на равных бороться с европейскими державами и Османской империей за выход к морям, нужно было заимствовать отдельные достижения Европы. В этих условиях только модернизация жизни России помогла бы войти в круг европейских государств. Первой попыткой модернизации России, связанной с разложением феодализма, явились реформы Петра I.

2. В истории петровских реформ исследователи выделяют два этапа: до и после 1715 г. (В.И. Роденко, А.Б. Каменский): на первом этапе реформы носили хаотичный характер и были вызваны в первую очередь военными нуждами государства, связанными с ведением Северной войны. Проводились в основном насильственными методами и сопровождались активным вмешательством государства в дела экономики (регулирование торговли, промышленности, налогово-финансовой и трудовой деятельности). Многие реформы носили непродуманный, поспешный характер, что было вызвано как неудачами в войне, так и отсутствием кадров, опыта, давлением старого консервативного аппарата; на втором этапе, когда военные действия уже были перенесены на территорию противника, преобразования стали более планомерными. Шло дальнейшее усиление аппарата власти, мануфактуры уже не только обслуживали военные нужды, но и производили потребительские товары для населения; государственное регулирование экономики несколько ослабло, торговцам и предпринимателям предоставлялась определенная свобода действий.

3. Важнейшим направлением преобразований Петра I было реформирование государственно-административной системы страны: а) вместо Боярской думы был учрежден Сенат - высший распорядительный орган по судебным, финансовым и военным делам. Он состоял из дворян, приближенных к царю; б) система приказов была заменена 11 коллегиями с четким разделением функций и коллективным принципом принятия

решений; в) для контроля над деятельностью государственных органов была создана прокуратура во главе с обер-прокурором; г) была реорганизована система местного управления. Страна разделена на 8 губерний во главе с губернаторами. Губернии делились на провинции, провинции на уезды. Городское управление было передано городским магистратам, члены которых избирались из купцов пожизненно; д) упразднено патриаршество и введено государственное управление православной церковью посредством нового органа — Святейшего синода, состоявшего из назначенных царем представителей духовенства; е) изменилась система престолонаследия (Указ 1722 г.), теперь монарх сам назначал себе преемника; ж) в 1721 г. Россия провозглашена империей.

4. В период осуществления петровских реформ произошли изменения в положении социальных групп в социально-сословной структуре общества: а) завершился процесс формирования дворянского сословия; б) издан указ о единонаследии, который юридически уравнял вотчинную и поместную собственность, Наследником недвижимости мог стать только один из наследников, а остальным доставалось движимое имущество (фактический запрет на дробление поместий при наследовании); в) введение обязательной службы для дворян, при которой принцип прохождения («породы») заменен принципом выслуги; г) издание в 1722 г. Табеля о рангах, который разделил все военные и гражданские должности на 14 чинов, теперь прохождение от чина к чину зависело не от знатности рода, а от личных достоинств дворян.

5.Сущность военной реформы Петра 1 состояла в ликвидации дворянского ополчения и организации постоянной регулярной армии с единообразной структурой, вооружением, обмундированием и уставом. Введена рекрутская система на основе сословно-крепостнического принципа. Создан военно-морской флот.

6. В области экономики главным направлением стало создание мануфактур, сначала казной, а затем и частными лицами. Владельцы мануфактур получили право покупать крестьян, но не в личную собственность, а только для работы на данном предприятии (посессионные крестьяне). Возникали новые отрасли: судостроение, стекольное и фаянсовое дело, шелкопрядение, производство бумаги. В области внутренней и внешней торговли господствовала политика меркантилизма и протекционизма.

7. Реформы Петра I в области образования и культуры были направлены на просвещение общества, реорганизацию системы образования: а) была создана сеть школ начального обучения (цифирные школы); б) созданы специальные школы с профессиональной подготовкой: горная, канцелярская, школа переводчиков; в) организованы специальные технические учебные заведения: навигационная, артиллерийская, инженерная, медицинская школы; г) в 1725 г. — в Петербурге открыта Академия наук. Большое значение сыграла реформа гражданского шрифта, что способствовало более массовому потреблению книжной продукции; началось издание газеты «Ведомости». Был реформирован быт господствующего класса по западному образцу: бритье бород, ношение

платьев по иноземным образцам. Упрощен дворцовый быт. Он стал более динамичен: на знаменитых ассамблеях не только пили и плясали, но и решали деловые вопросы. Все культурные преобразования касались только верхов общества.

8. Вся реформаторская деятельность Петра I была тесно связана с активной внешней политикой, борьбой за выход к Балтийскому, Черному и Каспийскому морям.

Первые Азовские походы совершены были еще в конце XVII в.: в 1695 г. — осада турецкой крепости Азов была неудачной, так как не было флота. После строительства 30 кораблей в 1696 г. Азов был взят и основана крепость Таганрог, но в 1710 г. пришлось отдать эти завоевания. Выйти к Черному морю не удалось.

Основные военные действия Петр I вел со Швецией в ходе Северной войны (1700—1721), шла война за Балтику. 30 августа I 1721 г. был заключен Ништадтский мир: к России были присоединены: Эстландия, Лифляндия, Ингрия с Петербургом и I часть Карелии. Это был выход к Балтийскому морю. Россия стала великой морской державой. Был еще Персидский поход (1722—1723), в результате которого удалось получить западный берег Каспия, но вскоре пришлось его вновь отдать.

9. Оценка реформаторской деятельности Петра I далеко неоднозначна. Это был яркий пример реформ «сверху»: а) сделан огромный вклад в превращение России в империю с мощной армией и флотом. В конце своей жизни Петр I назвал Россию империей, хотя это не соответствовало реальности; б) создание промышленного производства способствовало гигантскому скачку производительных сил. Однако форсированное строительство делалось по западному образцу и проводилось жесткими методами, что привело к более грубой эксплуатации, чем даже суровые формы феодальной зависимости. Произошло огосударствление экономики и дальнейшее усиление крепостничества; в) проводимые реформы в области культуры приведи к механическому перенесению культурных стереотипов Запада на русскую почву, что способствовало появлению тенденции подавления национальной культуры.

10. Смерть Петра I в 1725 г. привела к длительному кризису власти, Этот период в нашей истории получил название «дворцовые перевороты». За 37 лет от смерти Петра I до воцарения Екатерины II трон занимали шесть царственных особ, получивших престол в результате сложных дворцовых интриг или переворотов.

11. Дворцовые перевороты были связаны с тремя моментами: 1) указ о наследии престола 1722 г., предоставлявший монарху право назначать наследника, и при каждом новом царствовании возникал вопрос о преемнике престола; 2) переворотам способствовала незрелость русского общества, явившаяся следствием петровских реформ; 3) после смерти Петра I ни один дворцовый переворот не обошелся без вмешательства гвардии. Она была военной и политической силой, наиболее близко стоявшей к власти, четко осознававшей свои интересы при том или ином перевороте. В нее входили в

основном дворяне, поэтому гвардия отражала интересы значительной Части своего сословия.

12. После смерти Петра I гвардейцами на престол была возведена его жена Екатерина I (1725—1727). При ней был создан Верховный тайный совет (А.Д. Меньшиков, Д.М. Голицын и др.). GoBeT удерживал власть и при внуке Петра I - Петре II (1727—1730) до ссылки Меньшикова в 1727 г.

13. Совет превратился в орган старой родовитой знати и после смерти Петра II возвел на престол племянницу Петра I, вдовствующую герцогиню Курляндии Анну Иоанновну (1730- 1740), с условиями ее марионеточной власти. Но прибыв в Москву, получив челобитные дворянства, она демонстративно порвала договор с Верховным тайным советом, упразднила его, передала управление Кабинету министров. Но власть во многом принадлежала фавориту императрицы Бирону и приближенным из прибалтийских немцев. Анна Иоанновна усиливает дворянские привилегии: сокращает срок службы дворян в армии до 25 лет, отменяет обязательное единонаследие, создает привилегированные учебные заведения для дворян, издает указы об исключительном праве дворян на владение землей и крепостными и праве дворян ссылать крестьян в Сибирь. После смерти императрицы престол занял сын ее племянницы Иван Антонович (при регентстве его матери Анны Леонидовны).

14. В 1741 г. гвардейцы, возмущенные засильем немцев, возвели на престол дочь Петра I Елизавету Петровну (1741-1761). При ней была сделана попытка восстановления роли органов правления, созданных Петром I, продолжена его политика на развитие российской промышленности; произошло ужесточение религиозной политики были приняты указы о выселении из России лиц иудейского вероисповедания, о перестройке лютеранских храмов в православные; произошло значительное расширение дворянских льгот (учреждение дворянских заемных банков, предоставление дешевого кредита, монопольное право на винокурение и др.).

15. После смерти Елизаветы Петровны на престол взошел ее племянник Петр III. За шестимесячное царствование Петр III принял 192 указа. Наиболее важным был «Манифест о вольности дворянству» (1762), которым дворяне освобождались от обязательной службы государству, получали возможность жить в своих поместьях, свободно выезжать за границу и даже поступать на службу к иностранным государям. Наступил золотой век дворянства. Была объявлена секуляризация церковных земель в пользу государства, что укрепляло государственную казну (окончательно указ был проведен в жизнь Екатериной II в 1764 г.); произошла ликвидация тайной канцелярии, упразднялись торговые монополии, стеснявшие развитие предпринимательства, провозглашалась свобода внешней торговли. Однако эти меры были задуманы еще в предыдущее царствование и осуществлены по инициативе приближенных к императору сановников. Петр III отрицательно относился ко всему русскому, перекраивание многих порядков по западному образцу оскорбляло национальные чувства русских людей. В результате 28 июня 1762 г. произошел дворцовый переворот и на престол

была возведена жена Петра Ш Екатерина II, а спустя несколько дней он был убит.

16. Внешняя политика русских императоров в период дворцовых переворотов определялась выходами к морям. Война с Турцией (1735—1739) дала России устье Дона с Азовом. Война со Швецией (1741 — 1743) подтвердила приобретения России в Прибалтике. В 1756—1763 гг. шла Семилетняя война России в союзе с Австрией, Францией. Швецией против Пруссии, входе которой русская армия в 1760 г. заняла Берлин и Фридрих II готов был на любых условиях подписать мирный договор, но ставший после смерти Елизаветы Петровны императором Петр 111 заключил в 1762 г. с Пруссией мир, отказавшись от всех завоеваний.

17. Екатерина II, воспитанная на идеях французского просвещения, в первый период своего царствования пыталась смягчить нравы российского общества, упорядочить общественное законодательство, ограничить крепостное право. Ею был написан «Наказ», который должен был служить руководством для будущего законодательного собрания. С одной стороны, в этом документе проводилась мысль о разделении властей и создании элементов правового государства, с другой — в нем не было и речи о ликвидации самодержавия, робко говорилось о смягчении крепостного права. Поскольку идейно эта программа, а следовательно, и внутренняя политика Екатерины основывались на принципах просвещения, то и сам этот период в русской истории получил название «просвещенного абсолютизма».

18. Российский просвещенный абсолютизм характерен такими мероприятиями, в которых были заинтересованы дворяне и государство, но которые в то же время способствовали развитию нового капиталистического уклада. Важной чертой политики просвещенного абсолютизма было стремление монархов ослабить остроту социальных противоречий путем совершенствования политической надстройки.

19. Самым крупным мероприятием просвещенного абсолютизма был созыв Уложенной комиссии в 1767 г. с целью переработки российского законодательства. Но комиссия не смогла разработать новое законодательство Российской империи, так как невозможно было сочетать либеральные идеи «Наказа» с реальностью российской жизни, противоречивыми нуждами и пожеланиями различных групп населения. На свертывание политики просвещенного абсолютизма повлияли два события XVIII в.: Крестьянская война под руководством Е. Пугачева в России и Великая французская революция в Европе.

20. Несмотря на неудачу в составлении Российского законодательства, Екатерина И все же провела ряд реформ в духе просвещенного абсолютизма, особенно в период до 1775 г.: 1) сенат был разделен на 6 департаментов со строго определенными функциями каждого. Во главе их стояли обер-прокуроры, подчинявшиеся генерал-прокурору; 2) был создан императорский совет при императрице из ближайших и влиятельных сановников; 3) в 80-х гг. XVIII в. были ликвидированы коллегии (кроме четырех), замененные губернским правлением; 4) все монастырские земли были переданы

государству; 5) в 1775 г. проведена губернская реформа. Она стала важным этапом в превращении России в унитарное государство путем создания единообразной системы управления всей территории империи; 6) в 1785 г. издана «Жалованная грамота дворянству», определившая статус дворянства и закрепившая все его права и привилегии, полученные к этому времени; 7) в 1785 г. была издана «Грамота на права и выгоды городам Российской империи», по которой все городское население было разделено на шесть категорий, купцы делились на три гильдии; 8) в России было впервые введено бумажное денежное обращение, приведшее в первое время к инфляции и вызвавшее недовольство большинства населения.

21. К концу XVIII в. в социально-экономическом развитии России наблюдается, что, с одной стороны, процесс складывания капиталистических отношений стал необратимым; происходит рост товарно-денежных отношений и разрушается натуральная замкнутость помещичьего и крестьянских хозяйств; увеличивается количество мануфактур, основанных на применении наемного труда; развивается промысловая деятельность; с другой - идет усиление крепостнического гнета, которое характеризуется увеличением барской и уменьшением крестьянской запашки, ростом барщины и оброка, правом помещика ссылать провинившихся крестьян в Сибирь на поселение и на каторгу, распространением крепостничества на Левобережную Украину; как результат кризиса феодально-крепостнической системы, произошла Крестьянская война под руководством Е. Пугачева (1773—1775).

22. В исторических исследованиях нет единства в опенке деятельности Паата 1. Одни историки называют время его правления непросвещенным абсолютизмом», другие - «военно-политической диктатурой». Реформы его носили противоречивый характер. Произошло усиление централизации государственного управления и упразднение элементов самоуправления в губерниях и городах (восстановлены ряд коллегий, ликвидированы управы и городские думы); изменилась система престолонаследия (возврат к допетровским принципам); были ограничены привилегии дворянства (призывы к обязательной службе, установление налога с дворян, введение телесных наказаний); ослаблен крепостной гнет (ограничение барщины тремя днями, запрет на продажу крестьян без земли, массовая раздача казенных земель с крестьянами в качестве пожалований); осуществление финансовой стабилизации (изъятие бумажных ассигнаций из оборота); регламентация и унификация сторон жизнедеятельности общества (запрет на ношение шляп и пр., запрет на ввоз иностранных книг). Следствием непредсказуемости политики императора и ее опасности для дворянской элиты станет последний дворцовый переворот и убийство Павла I 12 марта 1801 г.

23. Задачами во внешней политике второй половины XVJ11 в. были: во-первых, борьба за выход к Черному морю; во-вторых, освобождение от иностранного господства земель Украины и Белоруссии и объединение в одном государстве всех восточных славян; в-третьих, борьба с

революционной Францией в связи с начавшейся в 1789 г. Великой французской революцией; в- четвертых, утверждая свои интересы в европейской политике, Россия стремилась сыграть роль гаранта независимости английских колоний в Северной Америке; соблюдение интересов России в этом регионе — участие в колонизации Северной Америки. В результате: 1) в ходе двух Русско-Турецких войн (1768- 1774 и 1787—1791) Россия получила территории в Северном Примерн Орье, Кабарду, территории между Бугом и Днестром, Очаков и Крым — это был выход к Черному морю; 2) в результате трех разделов Речи Посполитой (1772, 1793, 1795) к России отошли Белоруссия, Правоберсжная Украина, Литва и герцогство Курляндское. Была стабилизирована обстановка на западных границах, получен непосредственный доступ к странам Центральной Европы; 3) вступив в антинаполеоновский союз европейских монархов, где главным партнером России была Англо-российская армия под руководством А.В. Суворова, вместе австрийцами, в трех сражениях в Северной Италии в 1799 г. раз била французские войска, совершила переход через Альпы Швейцарию, но в 1800 г. Павел I заключил союз с Наполеоном разорвал отношения с Англией, отозвав русскую армию Россию; 4) в 1780 г., в период войны североамериканских колоний за независимость, Россия выступила с Декларацией в вооруженном нейтралитете, ограничившей действия британского флота. К Декларации присоединились и другие европейские страны фактически поддержав североамериканские колонии и подняли международный престиж России. Таким образом, благодаря активной внешней политике Россия во второй половине XVIII в стала великой европейской державой. Но в социально-экономическом плане Россия оставалась отсталой страной, что делало ее положение в системе европейской цивилизации нестабильным, противоречивым.

Тема 7 - 8. РОССИЯ В XIX В.

- Внутриполитическое развитие России | в первой половине XIX в.
- Социально-экономическое развитие России в первой половине XIX в.
- Великие реформы Александра II
- Контрреформы Александра III
- Общественная мысль и общественные движения в России XIX в.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. К началу XIX в. Россия оставалась аграрной страной. Более 90% ее населения составляло крестьянство. Сельское хозяйство было основной отраслью экономики страны, носило экстенсивный характер. Сохранялись многочисленные феодальные пережитки. В политической сфере —

абсолютная самодержавная власть; в экономической — помещичье землевладение; в социальной - сословная структура общества, господствующее положение дворянства.

2. Во внутренней политике Александра I характерной чертой царствования становится борьба двух течений — либерального и консервативно-охранительного — и лавирование императора между ними. Исследователи выделяют в царствовании Александра I два периода: 1) 1801—1812 гг. — подготовка реформ 11 и стремление провести широкомасштабные преобразования либеральной направленности; 2) 1814—1825 гг. — во внутренней политике стали преобладать консервативные тенденции.

3. Реформаторская деятельность Александра I (1801-1812): были проведены реформы в области образования, изменение 11 органов центрального управления (реформирован сенат, заменены коллегии министерствами), предприняты попытки решения аграрного вопроса «Указ о вольных хлебопашцах» (1803 — начало крестьянской реформы в Прибалтике). В 1809 г. М.М. Сперанским был разработан проект государственных преобразований, по которому Россия должна была превратиться из самодержавной в конституционную монархию. Александр I одобрил этот проект, но принять его не решился.

4. Внутренняя политика (1814-1825): примерно до 1819 г. наряду с проведением реакционных мер российского самодержавия, усилением цензуры, ограничением самостоятельности университетов, борьбой с общественной мыслью, имели место и некоторые либеральные преобразования: дарована конституция царству Польскому, отменено крепостное право в Прибалтике, велась разработка проекта конституции Н.Н. Новосильцевым. С 1820 г. наблюдается усиление консервативных тенденций. Итогом царствования Александра I стала дальнейшая бюрократизация системы и консервация политического и социально-экономического развития страны.

5. Во внешней политике Александр I стремился укрепить свое влияние в Европе, продвинуться в Закавказье и на Балканы. Союз с Англией был восстановлен. Россия приняла участие в III и IV антифранцузских коалициях. III коалиция распалась после крупного поражения русско-австрийских войск при Аустерлице в 1805 г. IV коалиция была разбита в 1806—1807 гг. Русские войска потерпели поражение под Фридландом в 1807 г. Это вынудило Александра I подписать Тильзитский мирный договор с Наполеоном, по которому к России отходили Белостокская область, из Прусской части Польши образовывалось герцогство Варшавское, Россия присоединялась к континентальной блокаде Англии. В результате Русско-Шведской войны 1808—1809 гг. Россия получила: Финляндию (которая была автономной в составе империи) и Аландские острова. В ходе Русско-Турецкой войны 1806—1812 гг. к России была присоединена восточная часть Молдавии; в Русско-Иранской войне 1804— 1813 гг. к России отошел Азербайджан и она получила право держать флот на Каспии, кроме того, в состав Российской

империи добровольно вошла Грузия. В ночь с 11 на 12 июня 1812 г. французская армия форсировала Неман и вторглась в пределы России — началась Отечественная война 1812 г. — величайшее событие в русской истории. В ходе войны проявились мужество и героизм русских людей, особенно в Смоленском и Бородинском сражениях, боях под Малоярославцев и у реки Березины. Погибло около 2 млн чел. Изгнание французов из России не означало окончания борьбы с Наполеоном. 1813—1814 гг. ознаменовались заграничными походами русской армии. Как итог, в результате решений Венского конгресса 1814 г. Россия получила почти всю Польшу, ее влияние в Европе значительно возросло. В 1815 г. Александром I был создан Священный союз в составе России, Пруссии, Австрии и Англии, целью которого была борьба с любыми революционными проявлениями на континенте и сдерживанием многих народов в искусственных границах, созданных решениями венского конгресса.

6. Время царствования Николая I характеризуется максимальной военизацией, бюрократизацией и централизацией управления. На многие должности были поставлены военные. В армии укреплялась палочная дисциплина, что снижало ее боеспособность. Бюрократический аппарат рос стремительно от 15 тыс. в начале XIX в. до 86 тыс. в 1857 г. Известна фраза Николая I, что «Россией правят столоначальники». Возвращенный на государственную службу М.М. Сперанский кодифицировал законодательство. Реорганизуется «Собственная Его Императорского Величества Канцелярия». Увеличивается количество отделений до шести. Одним из них становится третье — «Высшая полиция», под контроль которого была поставлена вся политическая и духовная жизнь страны. Николай I пытался решить крестьянский вопрос (реформа П.Д. Киселева в государственной деревне; указ об обязательных крестьянах), но помещики проигнорировали эти мероприятия государственной власти.

7. Основные направления внешней политики Николая I - борьба с революцией в Европе и решение восточного вопроса. Для воссоздания Священного союза Николай I готов был идти на ряд уступок в восточном вопросе. Россия одержала победу в войне с Ираном в 1826—1828 гг. и присоединила восточную Армению; Русско-Турецкая война 1828—1829 гг. завершилась присоединением основной территории Закавказья; Молдавия, Валахия, Сербия, а через год Греция получили автономию. В 1833 г. Николай I возобновляет договор о взаимопомощи с монархами Австрии и Пруссии. В 1841 г. Россия подписывает Лондонскую конвенцию, которая устанавливала над Турцией и проливами контроль четырех держав (Англии, России, Австрии, Пруссии). В конце 40-х гг. XIX в. разразился очередной революционный кризис в Европе. Россия приняла участие в подавлении революционных выступлений в Европе. Она превратилась в «жандарма Европы». После разгрома революций опять встал «восточный вопрос», состоящий из трех основных проблем: судьба балканских народов, режим черноморских проливов и судьба самой Османской империи. Николай I рассчитывал на поддержку Англии, но его расчеты не оправдались, и русским

войскам пришлось столкнуться не с ослабевшей Османской империей, а с коалицией стран Европы, которые были не заинтересованы в усилении России на Ближнем Востоке. Как следствие, проиграна Крымская война 1853—1856 гг., подписан Парижский мирный договор (1856), по которому Россия теряла устье Дуная, возвращала Карс в обмен на Севастополь и другие города Крыма и лишалась права иметь да Черном море военный флот и укрепления.

В 1817—1864 гг. Россия завоевала территории горских народов, Кавказа. Наиболее тяжелой была борьба за Чечню и Дагестан, где сложилось теократическое государство — имамат.

8. Александр II после внезапной смерти отца Николая I, проигранной, но, еще не законченной Крымской войной, оказался перед проблемой, продолжать прежний курс или находить пути выхода из острейших ситуаций. Он смог понять насущность коренных преобразований и настоять на проведении их в жизнь. По положению 19 февраля 1861 г. крестьяне становились лично свободными и освобождались с заранее определенным для различных регионов страны минимальным наделом земли. Так Начиналась великая крестьянская реформа.

9. Продолжением отмены крепостного права в России были развитие системы государственных учреждений, земская, городская, судебная, военные реформы. Их основная цель — привести государственный строй и административное управление в соответствие с новой социальной структурой, в которой крестьянство получило свободу.

10. Земская и городская реформы (1864, 1870) создавали органы самоуправления в уездах, губерниях и городах. Прерогативы их ограничивались хозяйственными функциями.

11. Наиболее радикальной была судебная реформа (1864). Она впервые в России вводила гласный, бессословный и независимый от администрации суд, основанный на принципах состязательности сторон. Появились судебные следователи, адвокаты, присяжные заседатели, определявшие виновность или невиновность подсудимого. Для крестьянства сохранялся волостной суд, для духовенства оставался особый (консистория).

12. Реформа в области просвещения (60—70-е гг. XIX в.) провозглашала равенство сословий и вероисповеданий в мужских гимназиях и созданных реальных училищах. Университетам была возвращена автономия. Были учреждены женские гимназии и высшие женские курсы. Восстановлена преемственность высшей и средней ступеней образования.

13. Военная реформа (1874) предусматривала введение всеобщей воинской повинности, отмены телесных наказаний, сокращения сроков службы, были введены новые уставы, открыты юнкерские училища и военные гимназии, где могли учиться выходцы из всех сословий.

14. Реформы 60-70-х гг. XIX в. значительно продвинули Россию по пути экономической и политической модернизации. Однако эра реформ оказалась кратковременной. Реформы не коснулись политического переустройства страны. Сохранились самодержавие и полицейский строй,

унаследованный от прошлых эпох.

15. Гибель Александра II стала окончанием эпохи Великих реформ, наступило время контрреформ «патриархального правления» Александра III. Целью данной политики было восстановление принципа сословности, усиление позиций дворянства во всех сферах жизни общества и усиление правительственной власти на местах. Политика контрреформ не была полностью реализована, вступив в явное объективное противоречие с ходом исторического развития России.

16. Развитие русского капитализма второй половины XIX в. имело ряд особенностей: сохранялась многоукладность промышленности; происходило неравномерное размещение промышленности по территории России и по отраслям; огромную роль в развитии экономики играло государство; фактором, ускоряющим развитие, было внедрение в русскую экономику иностранного капитала; сельское хозяйство развивалась по экстенсивному пути; произошло завершение промышленного переворота за короткие сроки, и были созданы предпосылки к индустриализации.

17. Во внешней политике России во второй половине XIX в. можно выделить три основных направления: 1) европейское - борьба за пересмотр тяжелых условий Парижского мирного дог говора, укрепление позиций России на Ближнем Востоке и Балканах; 2) завершение процесса территориального формирования Российской империи: присоединение Средней Азии и дальнего востока, война на Кавказе; 3) участие России в формировании военно-политических блоков. Новым союзником России в Европе стала Пруссия. Россия поддерживала стремление прусского канцлера О. Бисмарка к объединению германских земель в 1870—1871 гг. В результате А.М. Горчаков добился отмены ограничительных статей Парижского мирного договора о нейтрализации Черного моря. В 1872—1873 гг. был образован «Союз трех императоров» (Россия, Германия, Австрия), опираясь на: который, Россия успешно соперничала с Англией в Средней Азии. В результате в сферу влияния Российской империи попали: Казахстан, Кокандское и Хивинское ханства, Бухарский эмират. В 1885 г. был присоединен Туркменистан, и буфером между английской и русской сферой влияния стал Афганистан. Однако «Союз трех императоров» оказался не прочным это показала - Русско-Турецкая война 1877— 1878 гг., в результате которой был подписан Сан-Стефанский мирный договор, а Сербия, Румыния и Черногория получили независимость; Турция уплачивала России контрибуцию; Карс, Ардаган, Баязет, Бостуж и Южная Бессарабия переходили к России. Однако, под натиском европейских держав Россия согласилась на пересмотр условий договора. Изоляция России во многом была обеспечена Германией. В 1882 г. был создан Германо-Австрийско-Итальянский союз против Англии и Франции. Это заставило Россию искать союзника в лице Франции. Между странами была заключена военная конвенция. В Европе возникли два военно-политических блока.

Россия активизировалась на Дальнем Востоке: в 1855 г. между Россией и Японией был заключен договор о мире и дружбе: он закреплял право

России на северную часть Курильских островов, а остров Сахалин объявлялся совместным владением. С 1875 г. — остров Сахалин считается исключительно российским. В 1860 г. было подписано русско-китайское соглашение, где за Россией закреплялся Уссурийский край. В 1867 г. Аляска была продана США.

18. Первой серьезной попыткой со стороны общества противостоять власти было движение декабристов. Оно возникло среди радикально настроенного дворянства, потерявшего надежду на мирное преобразование России под влиянием идей просвещения, революционных процессов 20-х гг. в Европе. Участники выдвигали идеи буржуазных преобразований в России: введение конституции, отмену крепостного права, ликвидацию сословий и т.д.

19. После подавления движения декабристов появляются новые общественные движения. В 30-40-х гг. XIX в. начинается размежевание трех идейных направлений: радикального, либерального и консервативного. Консерватизм выразился в разработанной министром просвещения С.С. Уваровым теории официальной народности, где отражались идеи о единении, добровольном союзе государя и народа, об отсутствии противоположных классов в русском обществе. Среди оппозиционных правительству либералов сложилось два идейных течения - славянофильство и западничество, где в основном разворачивались дискуссии об историческом пути развития России. Радикально настроенные В.Г. Белинский, А.И. Герцен, Н.П. Огарев, критикуя современное положение России, считали, что необходимо не только догнать Европу, как считали западники, но вместе с ней перейти к принципиально новому строю - социализму. Основой русского социализма, по их мнению, должна была стать крестьянская община. Радикалы считали, что реформы можно провести только революционным путем.

20. Радикальное направление во второй половине XIX в. было представлено выходцами из разных слоев общества, которые стремились представлять интересы рабочих и крестьян. Исследователи выделяют три этапа в их развитии: 60-е гг. - складывание революционно-демократической идеологии (основанной на взглядах славянофилов и идеях А.И. Герцена о русском общинном социализме, к которому можно перейти, по их мнению, минуя капитализм) и создание разночинских кружков; 70-е гг. - оформление народнического направления и деятельность организаций народников; 80-90-е гг. активизация либеральных народников и начало распространения марксизма, на основе которого созданы первые социал-демократические группы, а в марте 1898 г. появляется первая социал-демократическая партия в России - РСДРП.

Тема 9 - 10. РОССИЯ В XX В.

- Россия в начале XX в.: реформы, войны, революции (1900-1917)
- Россия в 1918-1920 гг.: гражданская война, интервенция, политика «военного коммунизма»
- Социально-экономическое и политическое развитие СССР в 1920-1930 гг.
- СССР в годы Великой Отечественной войны (1941-1945)
- СССР во второй половине XX в. (1945-1985): социально-экономическое и политическое развитие
- Советский Союз в 1985-1991 гг. Распад СССР
- Россия в 1990-е гг.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. В начале XX в. Россия оставалась самодержавной монархией. Правительственные органы власти не формировались. Вся законодательная, распорядительная и исполнительная власть концентрировалась в руках императора. Для Николая II было весьма характерно назначать на ответственные посты своих родственников — великих князей Романовых, независимо от их личных качеств и способностей. Постепенно политическая формула «добрый царь - плохое окружение» получала все большее распространение в различных слоях общества.

2. Экономике России в начале XX в. была характерна цикличность - свойство, присущее мировому капитализму (периоды спада и подъема промышленного развития). Развитие российской экономической системы имело ряд особенностей: а) сочетание современной капиталистической промышленности и финансово-банковской системы с отсталым аграрным сектором, сохранившим полукрепостнические формы собственности и методы хозяйствования; б) сохранение самодержавия с его мощным бюрократическим аппаратом; в) относительная слабость российской буржуазии; г) активное вмешательство государства в экономику и складывание системы государственно- монополистического капитализма; д) сравнительно невысокая активность в вывозе капиталов за границу из-за нехватки отечественных капиталов и возможности их вывоза на окраины империи; е) большая доля иностранного капитала, который доминировал в тяжелой промышленности; ж) ускорение процесса монополизации и сращивания промышленного и финансового капитала — образование промышленно-финансовых групп, занявших господствующее положение в экономике.

3. Невзирая на высокие темпы экономического развития, Россия в начале XX в. оставалась среднеразвитой аграрно-индустриальной страной с отчетливо выраженной многоукладностью экономики.

4. Социально-политическая система России в начале XX в. представляла собой сочетание старых элементов, обусловленных сохранением пережитков крепостничества, и новых, вызванных развитием капитализма. С одной стороны, сохранялось привилегированное положение

дворян, владевших лучшей и большей частью земель, занимавших важнейшие посты в государственном аппарате; господство командно-административной системы; отсутствие демократических свобод; малоземелье крестьян, их привязанность к общине и неполноправие; высокая степень эксплуатации рабочих; угнетение народов национальных окраин: отсутствие права получать образование на родном языке, издание национальных газет и журналов; с другой — укрепление экономических позиций буржуазии и рост ее политических амбиций; увеличение численности пролетариата за счет обедневших горожан и обнищавших крестьян, ушедших в город на заработки; усиление роли рабочего движения, его характера и форм; ухудшение материального положения трудящихся из-за мирового экономического кризиса 1900-1903 гг., особенно проявившегося в России.

К началу XX в. в России сложились следующие группы противоречий: дворянство-буржуазия, дворянство-крестьянство, буржуазия-пролетариат, власть—народ, интеллигенция- народ, интеллигенция—власть, национальные проблемы. Незрелость средних слоев, разрыв «верхов» и «низов» обусловливали нестабильное, неустойчивое состояние российского общества.

6. Важнейшим направлением внешней политики в начале XX в. стало дальневосточное. С 90-х гг. XIX в. начинается активное проникновение российских капиталов в Китай. Это привело к столкновению с Японией, которую поддерживали европейские страны и США, стремившиеся разделить Дальний Восток сферам влияния. Накопившиеся противоречия между Россией и Японией из-за владении в Китае стали главной причиной Русско-Японской войны 1904-1 905 гг. Война имела несправедливый характер с обеих сторон. Япония стремилась к Тихоокеанском регионе под лозунгом «Великой Азии»; Россия вступая в войну, надеялась на патриотический подъем и пыталась отвлечь народ от революции. Война закончилась поражением России. По мирному договору (1905) Россия признавала Корею сферой влияния Японии, Япония получила во владение Южный Сахалин, право рыбного промысла часть русских берегов, а также право на аренду Ляодунского полуострова и Порт-Артур. Влияние России на Дальнем Востоке было подорвано. Поражение в войне стало мощным фактором, ускорившим революцию 1905—1907 гг.

7. Причинами первой буржуазно-демократической революции 1905—1907 гг. стали: нерешенность аграрного, рабочего и национального вопроса, а также противостояние самодержавия и общества, вызванного отсутствием политических свобод и парламента как формы представительной власти.

8. Первую буржуазно-демократическую революцию можно разбить на 3 этапа: 1) 9 января — сентябрь 1905 г. — начало и развитие революции: массовые антиправительственные выступления всех слоев общества по всей территории страны; октябрь—декабрь 1905 г. — высший подъем революции: Октябрьская всеобщая всероссийская стачка, выступления крестьян, восстание в армии и на флоте, образование политических партий,

декабрьское вооруженное восстание в Москве; январь 1906 — 3 июня 1907 гг. — спад и отступление революции: постепенное уменьшение силы стачек рабочих, новый размах выступлений крестьян, продолжение освободительного движения в национальных районах; возникновение парламентаризма в России, деятельность I и II Государственных дум — достижение некоторого ограничения самодержавия.

9. Главным итогом первой русской буржуазно-демократической революции 1905—1907 гг. было изменение социально- политической системы в России; самодержавие было ограничено двухпалатным парламентом; Государственный совет и Государственная дума; введены свободы: слова, партий и союзов, отменена цензура; сократилась продолжительность рабочего дня до 9—10 ч; отменены выкупные платежи с крестьян, начата столыпинская аграрная реформа. Вместе с тем оставался нерешенным аграрный вопрос, сохранялось множество феодальных пережитков и привилегий.

10. После отступления первой российской революции начался непродолжительный период реформирования страны, связанный с именем председателя Совета министров Петра Аркадьевича Столыпина. В основе его реформ лежали изменения в отношениях собственности в деревне. Основной целью столыпинской аграрной реформы являлось создание класса собственников как социальной опоры самодержавия и противника революционных движений. Основными положениями реформы стали: а) разрешение выхода крестьян из общины с правом закрепления в частную собственность принадлежащих им земельных наделов в форме хуторов или отрубов; б) передача крестьянскому банку казенных земель для продажи их нуждающимся крестьянам; в) организация переселенческого движения в Западную Сибирь с целью наделения безземельных и малоземельных крестьян землей; г) широкое строительство сельских школ и вовлечение в систему народного образования огромных масс населения. Однако результаты реформы крайне противоречивы: с одной стороны, ускорился процесс расслоения крестьянства, укрепилась устойчивость сельского хозяйства, его товарность и связь с рынком, стала формироваться сельская буржуазия; с другой, значительная часть крестьянства не приняла реформ, ускорилось разорение крестьянства, уходившего на заработки в город, правительство не обрело в деревне социальной опоры. Реформа не удовлетворила потребности крестьянства в земле и, следовательно, не смогла решить аграрно-крестьянский вопрос. Реформирование страны «сверху» потерпело неудачу, что в конечном итоге предопределило потрясения 1917 г.

11. Причины Первой мировой войны (1914—1918) заключались в противоречиях между ведущими европейскими державами, в обострении их борьбы за сферы влияния. Накануне войны сложилось окончательное противостояние двух блоков держав; Антанты (Россия, Англия, Франция) и Четвертного союза (Германия, Австро-Венгрия, Турция, Италия). Поводом к началу войны послужило убийство австро-венгерского наследника престола Фердинанда в столице Боснии Сараево. Поскольку его убийцей был серб,

Австро-Венгрия обвинила в организации покушения Сербию. 28 июля 1914 г., через месяц после сараевского убийства, Австро-Венгрия объявила войну Сербии. 30 июля 1914 г. в России началась мобилизация. 19 июля (1 августа) 1914 г. Германия объявила России войну, объясняя свой шаг начавшейся в России мобилизацией. В июле-августе в войну вступили Франция и Англия. Таким образом, война приобрела характер мировой. В военные действия постепенно вступили 38 государств с населением около 1 млрд человек. Россия оказалась вынужденной вступить в войну, не завершив перевооружения армии и флота. 1914 г. — военная кампания не принесла успеха ни одной из сторон; 1915 г. — поражение русской армии в военной кампании. Россия потеряла Польшу, часть Прибалтики, Белоруссии и Украины; 1916 г. — основные военные действия разворачиваются на Западном фронте. Май-июнь 1916 г. — Брусиловский прорыв на Юго-Западном фронте против Австро-Венгрии; 1917 г. — поражение русских войск в условиях революции. Переговоры большевиков о мире; 1918 г., март — подписание сепаратного мира в Брест-Литовске с Германией; ноябрь — поражение Германии и ее союзников от Антанты. Однако Первая мировая война так и не смогла разрешить всех противоречий между ведущими капиталистическими странами, что подготовило почву для возникновения нового мирового конфликта.

12. В начале 1917 г. в России назрел новый революционный кризис, который привел к разрушению многовековой российской монархии. Основной причиной событий февраля 1917 г. была незавершенность задач первой буржуазно-демократической революции 1905—1907 гг. (нерешенность аграрного, рабочего, национального вопросов, а также существование самодержавия). Условиями, ускорившими наступление революции, стали: 1) поражения России на фронте, значительные людские потери, усталость населения от войны; 2) кризис власти — «министерская чехарда», падение авторитета царя («распутивщи- на»), противостояние Государственной думы и правительства; 3) хозяйственный кризис; 4) ухудшение материального положения трудящихся; 5) усиление стачечного и антивоенного движения, оппозиции либералов, агитации левых партий. Насущной задачей революции было создание демократической республики и выход из войны. Февральская революция была достаточно скоротечна 18 февраля — 3 марта 1917 г. В ней переплетались и взаимодействовали антифеодальные, антикапиталистические, общедемократические и узкоклассовые интересы. События февральских дней привели к полному крушению самодержавного строя, был открыт путь для демократизации страны. В итоге февральской революции в стране сложилось двоевластие. Оно представляло собою своеобразное состояние государственно политической системы, характеризующееся параллельным существованием и взаимодействием двух властей, опирающихся на разные общественные классы. Реальная сила находилась в руках Петроградского совета рабочих и солдатских депутатов, поддерживаемого армией и вооруженными рабочими. Фактически у власти стояло буржуазное, кадетско-октябристское Временное

правительство.

13. В России к осени 191.7 г. сложилось положение, когда встала главная задача — вопрос о власти: либо власть переходила в руки рабочих и крестьян и создавалось новое правительство, либо в России происходила реставрация монархии. Быструю и решительную победу большевиков в Петрограде 24—26 октября 1917 г. обусловили следующие факторы: экономический и политический кризис в стране; ошибки Временного правительства и умеренных социалистов,просчеты правых сил; популистские лозунги большевиков в ходе борьбы за власть; поддержка большевиков левыми эсерами и анархистами в ходе восстания; поддержка значительной частью Петроградского гарнизона и Балтийского флота; активность большевистских лидеров.

14. Провозгласив на заседании ЦК ВКП(б) 10 октября 1917 г. курс на вооруженное восстание в целях свержения Временного правительства, которое потеряло всякий авторитет в массах, большевики успешно смогли его реализовать. Временное правительство было низложено. Открывшийся 25 октября 1917 г. II Всероссийский съезд Советов был поставлен перед фактом победы восставших. После того как съезд покинули меньшевики, эсеры и представители ряда других партий, его работу возглавили большевики. На следующий день, на втором заседании съезда были приняты: Декрет о мире, провозгласивший;выход России из империалистической войны; Декрет о земле, подготовленный на основе крестьянских наказов и передававший землю крестьянам; Декрет о власти, провозгласивший установление власти Советов. Исполнительная власть передавалась большевистскому правительству — Совету народных комиссаров во главе с В.И. Лениным. Был сформирован новый всероссийский исполнительный комитет - ВЦИК, в который вошли 62 большевика и 29 левых эсеров. Принятые Декреты сначала отвечали надеждам народных масс, и это способствовало победе советской власти на местах.

15. Причинами начала Гражданской войны и иностранной интервенции в России в 1917—1922 гг. были: 1) обострение социально-экономических и политических противоречий в результате смены власти и изменения формы собственности; 2) крах демократической альтернативы страны в связи с разгоном Учредительного собрания большевиками в январе 1918 г.; 3) неприятие политическими противниками большевиков Брестского мира с Германией; 4) экономическая политика большевиков в деревне весной-летом 1918 г.; 5) иностранное вмешательство во внутренние дела России.

16. Существует несколько точек зрения на начало и периодизацию Гражданской войны: 1) начинается с октября 1917 г. (по существу даже раньше), а заканчивается осенью 1922 г., когда белая армия была разгромлена на Дальнем Востоке; 2) начинается с мая 1918 г. и продолжается до конца 1920 г., хотя военные действия продолжались и после 1920 г.; 3) в отличие от обычных войн, она не имеет четких границ - ни временных рамок, ни пространственных. Большинство историков в ходе Гражданской войны выделяют шесть этапов: первый — октябрь 1917 - май 1918 гг.: борьба

пришедших к власти большевиков с силами Керенского, Краснова, Каледина и др., попытка отпора Германской интервенции и Брестский мир; второй - лето- осень 1918 г.: борьба эсеро-меньшевистских сил, чехословацкий мятеж, развитие интервенции Германии; третий - конец 1918 — начало 1919 гг.: окончание Первой мировой войны и конец Германской интервенции, высадка войск Антанты в портах России, начало политики военного коммунизма, установление диктатуры Колчака в Омске; четвертый - весна 1919 - весна 1920 гг.: уход интервентов, победа РККА над армией Колчака на востоке, Деникина на юге, Юденича - на северо-западе; пятый - весна-осень 1920 г.: Советско-Польская война, разгром войск Врангеля в Крыму; шестой - 1921-1922 гг.: ликвидация локальных очагов войны, подавление Кронштадтского восстания, крестьянского движения на Тамбовщине, отрядов Махно, мятежей белоказаков на Кубани, освобождение Дальнего Востока от японцев, борьба с басмачеством в Средней Азии, демобилизация РККА, переход к нэпу.

17. В 1918 г. сложилась своеобразная экономическая и политическая система в Советском государстве в условиях Гражданской войны, которая получила название политики «военного коммунизма». Она была направлена на сосредоточение всех ресурсов страны в руках государства. Главными чертами военного коммунизма являлись: национализация промышленных предприятий, перевод на военное положение оборонных заводов и транспорта, осуществление принципа продовольственной диктатуры через введение продразверстки и запрещение свободной торговли, натурализация хозяйственных отношений в условиях обесценивания денег, введение трудовой повинности и создание трудовых армий. В 1921 г. в условиях мирного сосуществования страны эта политика показала свою несостоятельность и была заменена нэпом.

18. Гражданская война закончилась победой Советского государства и поражением Белого движения. Однако это была трагическая победа.» Погибло, по разным оценкам, от 10 до 15 млн человек. Резко уменьшилась численность наиболее квалифицированных рабочих кадров. Сократилось число интеллигенции. Многие ее представители покинули Россию. Основная часть крупной и средней буржуазии или была уничтожена, или эмигрировала. Были уничтожены помещичьи хозяйства, резко сократилась численность зажиточных крестьян. В глубоком кризисе находилась экономика страны. В политической жизни утвердилась диктатура большевизма, началось становление тоталитарной системы.

19. Новая экономическая политика (нэп) была введена советским руководством в 1921 г., после решения X съезда ВКП(б). Предусматривала выход из экономического и политического кризиса путем возврата к подконтрольной и регулируемой государством частной собственности в промышленности, замене продразверстки продовольственным налогом, провозглашение свободной торговли, использование иностранного капитала в форме концессий и труда батраков в деревне. Главными особенностями нэпа были сочетание административных и рыночных методов хозяйствования; сохранение командных высот в политике и экономике в руках рабочего

класса и его партии. В конце 20-х гг. от нэпа полностью отказались, в связи с накопившимися противоречиями, причинами этого стали: кризисы нэпа (1923, 1925, 1927, 1928); внутриполитическая борьба за власть в 20-е гг. XX в. и победа сторонников свертывания нэпа; самоизоляция советской экономики и отсутствие широких экономических связей с мировым сообществом; противоречия между административными и рыночными методами управления.

20. К 1922 г.- экономические, внутри- и внешнеполитические факторы (стремление коммунистической партии расширить сферу деятельности для социалистического эксперимента; старые хозяйственные связи; необходимость совместной обороны) требовали новых форм отношений между республиками (в 1922 к на территории бывшей Российской империи существовало 9 советских республик, а в РСФСР имелось девять автономных). Летом 1922 г. по решению ЦК РКП(б) начался процесс, объединения советских республик в единое государство. Существовало два варианта объединения: а) вариант И.В. Сталина — «автономизация» советских республик, понимаемая как их автономия в составе единого пролетарского государства, советизация, диктатура пролетариата», решение национального вопроса в ходе преодоления, культурных и экономических различий; б) предложение ;В.И. Ленина о новой форме союзного государства на основе добровольного и равноправного объединения самостоятельных советских республик. Предусматривалось образование федерации посредством заключения с республиками договора, при этом республики сохраняли всю полноту I управлениянвнутренними делами. 30 декабря .1922 г. I съезд Советов СССР принял Декларацию, и Договор об образовании Сот юза Советских Социалистических республик. В. Состав СССР вошли РСФСР, Украинская ССР, Белорусская .ССР. и Закавказская Федерация, включавшая Азербайджан, Армению и Грузию. В январе 1924 г. II Всесоюзный съезд Советов одобрил первую Конституцию СССР. По Конституции СССР представлял собой Федерацию равноправных суверенных государств Однако статья Конституции о полновластии Советов была фикцией, на деле государственная власть концентрировалась в структурах партии, жестко управляемой из центра. Союз сразу же приобрел характер унитарного государства.

21. На XIV съезде, в декабре 1925 г. был провозглашен курева индустриализацию. Была поставлена задача превратить СССР из страны, ввозящей машины и оборудование, в страну, их производящую, затем провести машинизацию всего народного хозяйства и на этой основе добиться ускоренного развития. Главной целью данной политики являлось изменение социальной структуры и ликвидация класса предпринимателей (отход от политики нэпа), упрочение политического господства большевиков. С конца 20-х гг. государство приступило к планированию, начали разрабатываться пятилетние планы, составляемые без учета издержек, которые со временем превратились в твердые задания по производству продукции. В проведении индустриализации отмечались: высокие темпы индустриализации; сжатые

исторические сроки; акцент на развитие тяжелой промышленности в ущерб легкой; осуществление индустриализации за счет внутренних источников накопления (перекачка средств из деревни, займы у населения, усиления налогового бремени за счет эмиссии денег, продажи драгоценных металлов и художественных ценностей, использование труда заключенных и т.д.). В результате индустриализации СССР вышел на второе место в мире по объему промышленного производства. Индустриализация позволила быстро ликвидировать безработицу, но более половины промышленных рабочих было занято тяжелым физическим трудом. Главный итог «большого скачка» — закрепление командно-административных методов управления экономики. Этот период оценивается как промышленное преобразование страны, обеспечивавшее технико-экономическую независимость СССР в сложных внешнеполитических ситуациях.

22. К середине 20-х гг. XX в. положение крестьянства ухудшилось, это было вызвано противоречиями нэпа и начавшейся индустриализации. XV съезд ВКП(б) дал толчок дальнейшему кооперированию крестьянских хозяйств, постановив, что коллективизация должна стать основной задачей партии в деревне. Целями государства в проведении этой политики являлись: а) создание в короткий срок крупных коллективных хозяйств с целью преодоления зависимости государства от единоличных крестьянских хозяйств в деле хлебозаготовок; б) обеспечение индустриализации дешевой рабочей силой за счет массового ухода крестьян из деревни; в) ликвидация кулачества как класса; 4) перекачка средств в промышленность на нужды индустриализации. В 1929 г. в статье «Год великого перелома» И.В. Сталин заявил о необходимости ускорить темпы коллективизации. В этом же году впервые прозвучали слова «сплошная коллективизация». Коллективизация проводилась жесткими методами (принудительность, обобществление крестьянской собственности, партийный и административный произвол, аресты, ссылки и т.д.). Все это вызвало недовольство крестьян. Темпы коллективизации значительно снизились. Крестьяне начали выходить из колхозов и пытались ввести хозрасчет, что было воспринято сталинским руководством как проявление классовой борьбы. Опять началось наступление на колхозы. Из колхозов забирался весь урожай. Результатом такой политики стал страшный голод 1932—1933 гг. В июне 1934 г. правительство заявило о начале последнего этапа коллективизации. К 1937 г. 93% крестьянских хозяйств были вовлечены в колхозы. Насильственная коллективизация привела: к ликвидации слоя зажиточных крестьян; уничтожению частного сектора в сельском хозяйстве; отчуждению крестьян от собственности земли; замедлению темпов роста сельскохозяйственного производства и постоянному обострению продовольственной проблемы в стране.

23. В 30-х гг. окончательно уничтожаются остатки гражданских свобод и формируется тоталитарный режим. Вся экономика огосударствляется, партия сливается с государством, государство идеологизируется. Каждый член общества вовлекается в иерархическую систему организаций: в партию, комсомол, Советы, профсоюзы, ДОСААФ и др., которые выступали в роли

«приводных ремней» партийно-государственного руководства. Население поддерживалось в состоянии повышенной мобилизационной готовности при помощи волн массового террора, судебных процессов над «врагами народа». Система базировалась на неукоснительном выполнении плановых директив и команд центра. Для пресечения недовольства создается карательно-осведомительная система.

24. Главными задачами СССР в 20-е г. XX в. во внешней политике были преодоление дипломатической изоляции и обеспечение безопасности своих границ. В 1919—1920 гг. были заключены договоры с Китаем, Латвией, Литвой, Эстонией, Ираном, Афганистаном, Турцией, Монголией и торговые отношения с Англией и Германией. Однако дипломатических отношений с ведущими державами мира СССР не имела, Политическая блокада с европейскими странами была прорвана в апреле 1922 г. в Рапалло, где был подписан с германской делегацией договор о восстановлении дипломатических отношений на основе взаимного отказа от претензий. 1924—1925 гг. стали «полосой дипломатического признания СССР». Большую роль в росте доверия к СССР сыграл нэп. С целью обеспечения безопасности границ СССР заключает договоры о ненападении с Турцией, Афганистаном, Литвой, Ираном, Германией.

Ориентация на Германию была отличительной чертой советской внешней политики 20-х — начала 30-х гг. Широким было военное сотрудничество между странами. В 1932 г. был заключен Советско-Польский договор о ненападении. Позднее такие же договора были заключены с Францией, Италией, Латвией, Эстонией. Это привело к напряженности в советско-германских отношениях. После прихода к власти Гитлера в 1933 г. СССР начинает ориентироваться на союз с Англией и Францией и делает попытки создания системы коллективной безопасности, направленной против Германии. Однако нежелание западных стран идти на союз с СССР и итоги Мюнхенского соглашения привели к переориентации внешней политики СССР на Германию. В результате, англо-франко-советские переговоры в Москве в августе 1939 г. были провалены, а 23 августа был подписан договор о ненападении между СССР и Германией, который развязывал руки Москве в отношении Финляндии, Латвии, Эстонии и западных территорий Украины и Белоруссии, входивших в состав Польши. 28 сентября 1939 г., по договору «О дружбе и границах» СССР получил Литву в обмен на часть польских земель. Эти территории в 1939—1941 гг. вошли в состав СССР, что явилось основным итогом его европейской политики.

На Дальнем Востоке СССР периодически вступает в вооруженные конфликты (летом 1929 г. — с Китаем, летом 1938 г. - с Японией на реке Халхин-Гол). Советскому Союзу удалось сохранить свои границы. Монголия осталась в сфере влияния СССР.

25. Великая Отечественная война 1941—1945 гг. на сегодняшний день во многом остается белым пятном для историков. Достаточно много возникает дискуссионных проблем: 1) кто развязал Вторую мировую войну?; 2) готовил ли Сталин нападение на Германию?; 3) проблема внезапности

нападения на СССР; 4) причины поражения советских войск весной—летом 1942 г.; 5) проблема движения Сопротивления; 6) потери СССР в годы войны; 7) цена победы СССР в Великой Отечественной войне.

26. Причинами Великой Отечественной войны, по мнению А.П. Деревянко и Н.А. Шабельниковой, были: 1) борьба конкурирующих систем, претендующих на глобальное господство: национал-социализма и коммунизма; 2) стремление Германии завоевать «жизненное пространство», захватив ресурсную базу СССР.

27. В истории Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. выделяют три основных периода: 1) 22 июня 1941 г. — 18 ноября 1942 г. — начальный период войны. Стратегическая инициатива принадлежала вермахту. Советские войска оставили Белоруссию, Прибалтику, Украину, вели оборонительные сражения за Смоленск, Киев, Ленинград. Битва за Москву (30 сентября 1941 г. — 7 января 1942 г.) первое поражение противника. Война приняла затяжной характер. Весна—лето 1942 г. — начало обороны Сталинграда и битвы за Кавказ. Перевод экономики на военные рельсы СССР завершен создана целостная система военной индустрии. Началась партизанская война в тылу врага (Белоруссия, Брянщина, Восточная Украина). Создана антигитлеровская коалиция 2) 19 -ноября 1942 г. — конец 1943 к — период коренного перелома-, окончательного перехода стратегической инициатив к СССР. Разгром немецких войск под Сталинградом (2 февраля 1943 г.), сражение на Курской дуге (июль 1943 г.). Битваэа Днепр— крушение оборонительной стратегии вермахта., освобождение левобережной Украины. Укрепление советской экономики: к концу 1943 г. обеспечена экономическая победа над Германией. Формирование крупных партизанских соединений. В тылу врага появились освобожденные районы. Укрепление антигитлеровской коалиции. Тегеранская конференция 1943 г. — кризис фашистского блока; 3)1944 г. - 9 мая 1945 г. — завершающий период. Освобождение всей территории СССР, освободительная миссия Краснойкармии в Европе (освобождение Польши, Чехословакии, Венгрии и других стран). Разгром фашистской Германии» Конференция в Ялте (февраль 1945 в) и Потсдаме (июль-август 1945 г.); особый период (9 августа — 2 сентября 1945 г.). — война ССОР против Японии, разгром Квантунской армии в Маньчжурии.

28. Цена победы в Великой Отечественной войне выражает сложный комплекс материальных экономических, интеллектуальных, духовных и других усилий государства и народа, Понесенного ими урона, ущерба, потерь и издержек. С одной стороны, за время войны была создана мощная военная промышленность, сформирована индустриальная база; завоеван международный авторитет, СССР вошел в различные международные организации и союзы, значительно расширил сферу политического влияния; в состав СССР вошли Печенгский и Клайпедский районы, Южный Сахалин, Курильские острова, часть Восточной Пруссии; заложена основа для создания «блока социалистических государств» Европы и Азии; открылись возможности демократического обновления мира и освобождение колоний. С

другой стороны, ценой победы стали огромные людские потери - около 27 млн чел.; уничтожена 1/3 национального богатства страны; произошло укрепление сталинского режима; нанесен огромный экологический ущерб; война затормозила экономическое развитие СССР, вынужденного долгие годы восстанавливать народное хозяйство, залечивать физические и моральные раны людей.

29. В СССР в первое послевоенное десятилетие в экономической сфере был принят IV пятилетний план, основной задачей которого было восстановление разрушенного хозяйства и дальнейшее развитие экономики страны. К 1948 г. уровень промышленного производства достиг довоенного; восстановлено и построено 6200 промышленных предприятий; проведена денежная реформа и отменена карточная система (декабрь 1947 г.). Это проводилось за счет «экономии» на сельском хозяйстве, легкой промышленности и социальной сфере, а также репараций с Германии (4,3 млрд долл.). В социально-политической сфере происходит укрепление административно-командной системы и тоталитарно-бюрократической структуры власти; идеологическое закрепощение общественного сознания (проводятся кампании «борьбы с космополитизмом» с целью избавления от интереса и симпатий к Западу, воссоздания образа внутреннего врага); усиливается партийно-государственное давление на творческую интеллигенцию, новый виток репрессий в стране (ГУЛАГ для военнопленных, «Ленинградское дело», «Дело врачей»); культ И.В. Сталина достигает своего апогея.

30. С приходом к власти Н.С. Хрущева в 1953 г. начались заметные изменения в общественно-политической жизни страны. На XX съезде КПСС в феврале 1956 г. Н.С. Хрущев выступил с докладом, разоблачившим культ личности И.В. Сталина. В этом выступлении прозвучала критика культа, но не системы, определялись дозволенные рамки критики деятельности Сталина и сталинщины. И как результат, с одной стороны, в стране протекал процесс политической демократизации: происходит децентрализация системы управления и развития; начинается реабилитация невинно пострадавших жертв сталинских репрессий; реформирование образовательной системы; «оттепель» в литературе, театре, проявление определенной свободы творчества. С другой стороны, продолжала существовать командно-административная система: формируются элементы культа личности Н.С. Хрущева; проводятся репрессии против тех, кто в своей критике не ограничивается дозволенными рамками. В области сельского хозяйства и промышленности реформы Н.С. Хрущева носили непродуманный характер, что сказалось на экономическом и социальном развитии. В 1954 г. было принято решение об освоении целинных и залежных земель. Это был экстенсивный путь развития сельского хозяйства, и первые успехи быстро исчезли. Неудача постигла и проект подъема сельского хозяйства с помощью «царицы полей» кукурузы, и с помощью увеличения в 2—3 раза планов сдачи мяса, что нанесло невосполнимый ущерб животноводству. В промышленности преимущественно развивались оборонные отрасли и

атомная энергетика. Для преодоления сверхцентрализации экономики были созданы совнархозы. Эти бесконечные реорганизации сорвали выполнение VI пятилетки. Выход был найден в разработке 7-летнего плана. Расходы на науку выросли в 6 раз, но НТР вступила в противоречие с командно-административной системой. В начале 60-х гг. XX в. недовольство политикой Н.С. Хрущева охватило многие слои населения, этим воспользовались консерваторы в партийном и государственном аппарате. В октябре 1964 г. происходит смещение Н.С. Хрущева со всех постов.

31. Внешняя политика СССР во второй половине 50-х — начале 90-х гг. XX в. характеризуется не только активностью, но и противоречивостью. После Второй мировой войны выделились два лидера на международной арене — СССР и США. В мире, начиная с 1946 г., возобладала политика «холодной войны», которая привела к резкому обострению взаимоотношений между СССР и США, Востоком и Западом. Началась гонка вооружений, усилилась взаимная враждебная риторика, осуществлялась политика «с позиции силы». Придя к власти, Н.С. Хрущев постарался внести существенные коррективы и в сферу международных отношений. Новые отношения внешней политики были сформулированы им в докладе на XX съезде партии в 1936 г Главными принципами здесь были следующие: признание разнообразия путей построения социализма. возможность мирного сосуществования государств с различным общественный строем. В то же время советское руководство вело постоянную «антиимпериалистическую пропаганду», всемерно помогало коммунистическому и национально-освободительному движениям, исповедовало веру в торжество коммунизма над капитализмом во всемирном масштабе. Во второй половине 60-х первой половине 80-х гг. советская внешняя политика прошла путь от «холодной войны» к разрядке между народной напряженности и до нового витка «холодной войны. В период «перестройки» (1985—1991) была провозглашена внешнеполитическая доктрина советского правительства, получившая название «новое политическое мышление, которая предусматривала: отказ от раскола мира на две враждующие социально-политические системы (капиталистическую и социалистическую), признание его единым и взаимосвязанным; объявление в качестве универсального решения вопросов баланса интересов различных государств; признание приоритета общечеловеческих ценностей над любыми другими (классовыми; национальными, религиозными). Основным направлением во внешней политике СССР стало налаживание взаимоотношений с США. Однако в эти годы руководство СССР часто шло на односторонние уступки Западу н не думало об их дальнейших последствиях для страны.

32. С приходом к власти в октябре 1964 г. Л. И. Брежнева происходит смена политического курса. Пришедшая к руководству страной команда Л.И. Брежнева не имела позитивной программы деятельности. Однако негативная установка существовала, и заключалась она в том, чтобы прекратить бесчисленные преобразования, нарушавшие стабильность существования

бюрократии. Основным стад принцип «стабильности», который означал (в особенности после неудачи хозяйственной реформы, проведенной А.Н. Косыгиным) отказ от каких-либо нововведений в политической, экономической, идеологической и кадровой сферах. В 1977 г. была принята новая Конституция СССР, законодательно закрепившая руководящую роль КПСС в обществе, социализм в СССР провозглашался развитым, и было положено начало разработке теории, защищающей эту идею. Как следствие значительно возросла роль партийно-государственной номенклатуры. Прекратился процесс десталинизации, и начался, в известной мере, процесс ресталинизации. Одновременно открывается новая страница в истории политических процессов: судебной расправе подвергаются инакомыслящие, так называемые диссиденты, выступавшие за соблюдение прав человека и гражданина в СССР. К концу 70-х — началу 80-х гг. XX в. все больше стали проявляться кризисные явления во всех сферах жизни общества: снижение темпов экономического роста, крайне слабое развитие наукоемких отраслей производства (микроэкономики, биотехнологии, информатики); сохранение экстенсивных методов хозяйствования, что во многом способствовало формированию затратной экономики; превращение страны в сырьевой придаток мировой системы хозяйствования (вывоз сырья и закупка продовольствия); формирование «теневой» экономики; снижение жизненного уровня населения; остаточный принцип финансирования сфер медицины, образования, науки, культуры, жилищного строительства; накопление критического потенциала в обществе: сомнения в правильности социалитического пути, выбранного старшим поколением.

33. Л.И. Брежнев умер в ноябре 1982 г. На первую позицию в партийном аппарате выдвинулся Ю.В. Андропов, возглавляющий КГБ. Он был избран генеральным секретарем ЦК КПСС. Его задачей стала борьба с коррупцией, которая захлестнул высшие эшелоны власти. Начинается борьба за укрепление трудовой дисциплины. Тяжелобольной Ю.В. Андропов в феврале 1984 г. умирает. Генеральным секретарем становится К.У. Черненко, при котором усиливается экономический и политический кризис. Международное положение СССР ухудшается.

34. Перестройкой называется период с марта 1985 г. по декабрь 1991 г., когда в СССР были предприняты экономические политические, социальные, правовые и другие реформы, чтобы осуществить «всестороннее совершенствование социализма» и придать ему новый, более привлекательный облик как внутри страны, так и за ее пределами.

35. Предпосылками перестройки являлись: 1) стагнация в экономике, нарастание научно-технического отставания от Запада, провалы в социальной сфере; 2) политический кризис, выразившийся в сращивании партийно-государственной номенклатуры с дельцами теневой экономики и преступностью что привело к формированию в середине 80-х гг. устойчивых мафиозных группировок; 3) субъективной предпосылкой являлся приход к власти относительно молодого поколения поли, тиков, стремившихся не только к укреплению власти, но и вы. ступавших за обновление государства.

36. В истории перестройки некоторые исследователи выделяют четыре периода: 1) март 1985 г. - январь 1987 г. - проходящий под лозунгом «больше социализма»; 2) 1987—1988 гг. - «больше демократии»; 3) 1989-1991 гг., ставший периодом размежеваний и расколов в лагере перестройки; 4) августовский путч и отстранение от власти М.С. Горбачева, распад СССР.

37. Практически все реформы, осуществляемые в ходе перестройки, не были до конца продуманными, а потому и не были доведены до логического завершения, так как не прогнозировались их конечные цели. В итоге экономические реформы не дали положительных результатов. Началось общее сокращение производства в промышленности и сельском хозяйстве. Резко усилилась инфляция. К началу 90-х гг. страна оказалась в полосе острейшего социально-политического кризиса. В политической системе, стремления решить две задачи одновременно, - с одной стороны, модернизировать структуру государственной власти (при помощи удаления из руководства наиболее консервативных функционеров, введения системы альтернативных выборов и тайного голосования по кандидатурам на руководящие посты в партийных органах, введения президентского поста), с другой - сохранить партийную монополию на власть в рамках складывания многопартийной системы в стране - были обречены на неудачу. В стране назревал политический кризис.

38. К невысоким результатам преобразований в стране в ходе перестройки добавился рост национальной напряженности в республиках СССР. Непоследовательность национальной политики порождали многочисленные противоречия в межнациональных отношениях, которые постепенно переросли в открытые конфликты. Декларации о государственном суверенитете приняли Эстония, Литва, Латвия, Азербайджан и др. 12 июня 1990 г. I съезд народных депутатов РСФСР принял Декларацию о государственном суверенитете России. В ней законодательно закреплялся приоритет республиканских законов над союзными. Первым Президентом РФ стал Б.Н. Ельцин. Принятием Декларации о суверенитете союзных республик был поставлен вопрос о дальнейшем существовании СССР. Началась подготовка нового Союзного договора, подписание которого было назначено на 20 августа 1991 г. Но 19 августа 1991 г: часть союзного руководства совершает попытку государственного переворота. Проект предстоящего Союзного договора, означавший утрату контроля над республиками, этих руководителей не устраивал. После подавления путча процесс распада СССР принимает необратимый характер. 21 декабря 1991 г. 11 республик объявили о роспуске СССР. На встрече в Беловежской Пуще Б. Ельцин, Л. Кравчук, В. Шушкевич, а затем на встрече в Алма-Ате руководители бывших Союзных республик (кроме Эстонии, Литвы и Грузии) прекратили действие Союзного договора 1922 г., СССР перестал существовать, а президент M.G. Горбачев ушел в отставку. На территории бывшего Союза возникло Содружество Независимых Государств (СНЕ).

39. В 1991 г. в результате распада СССР на международной

политической арене появилось новое государство — Российская Федерация. В июне 1991 г. всенародным голосованием президентом России был избран Б.Н. Ельцин: После подавления августовского путча и в условиях начавшихся широкомасштабных экономических реформ стал постепенно нарастать конфликт между Верховным Советом РСФСР и президентом РФ. Он приобрел размах подлинной «войны законов», когда практически ни один законодательный акт, ни одно распоряжение двух ветвей власти не выполнялись. Лидеры Совета выступали против шоковой терапии в экономике, оспаривали законность ликвидации КПСС президентом в 1991 г. и т.д. В ходе референдума 1993 г. народ выбрал президентское правление. Однако открытое противостояние и вооруженные столкновения имели место в октябре 1993 т. Президент одержал победу. 12 декабря 1993 г. в результате всенародного референдума была принята новая Конституция РФ, по которой фактически Страна становилась президентской республикой. Срочно были проведены выборы в I Государственную думу и Федеральное собрание. Крупнейшими фракциями в Думе стали ЛДПР (В.В. Жириновский) и КПРФ (Г.А. Зюганов). 17 декабря 1995 г. был выбранн новый парламент, в котором образовалось четыре фракции: КПРФ («ПА. Зюганов), ЛДПР (В.В. Жириновский), блок «Наш дом Россия» (В.С. Черномырдин), блок «Яблоко» (Г.А. Явлинский). В июне 1996 г. прошли выборы Президента России (на этот пост претендовали Б.Н. Ельцин, Г.А. Зюганов, А.И. Лебедь, Г.А. Явлинский, В.В. Жириновский). Б.Н. Ельцину удалось во 2-м туре одержать победу. Серьезной политической проблемой стало реформирование Вооруженных сил. В июле 1996 г. Б.Н. Ельцин поставил задачу по созданию к 2000 г. высоко организованной профессиональной армии. Однако решение такой сложной задачи в условиях слабого финансирования и августовского кризиса 1998 г. стало проблематично. Другой внутриполитической проблемой оставалась борьба с преступностью. В ноябре 1998 г. в Петербурге убита депутат Госдумы Г.В. Старовойтова, усилился экстремизм, национализм. В послании Федеральному собранию 6 марта 1997 г. констатировалось бессилие властей в борьбе с коррупцией, но задача так и не была решена. Глубокий социально-экономический кризис в стране постоянно усугублялся кризисом во властных структурах. Б.Н. Ельцин с августа 1996 г. фактически отошел от дел, ненадолго появляясь на непродолжительное время и осуществляя кадровые перестановки; перестал владеть ситуацией в стране. С марта 1998 г. сменилось пять Председателей Правительства РФ (В.С. Черномырдин, С.В. Кириенко, Е.М. Примаков, С.В. Степашин, В.В. Путин). На этом фоне 19 декабря 1999 г. прошли выборы в III Государственную думу, где большинство голосов набрали КПРФ и движение «Единство» («Медведь»). 31 декабря 1999 г. Б.Н. Ельцин досрочно ушел в отставку, передав руководство В.В. Путину, который 26 марта 2000 г. избран Президентом РФ.

40. В конце 1991 г. Россия была вынуждена приступать к радикальным экономическим преобразованиям, так как страна оказалась в тяжелейшем финансовом кризисе. Попытка властей частично замаскировать инфляцию

государственным контролем над ценами лишь усиливали дефицит и вели к расцвету черного рынка. 1 января 1992 т. правительством, которое возглавлял Е. Гайдар, был принят набор монетаристских мер, так называемая шоковая терапия: ограничение совокупности спроса с помощью удорожания кредита и урезания бюджетных средств, приватизация государственных предприятий. Основным мероприятием социально-экономической политики этого периода явилась либерализация цен. Предполагалась, что данные меры способны в достаточно короткий срок сбить инфляцию и создать предпосылки для восстановления хозяйственного роста на рыночной основе. Но следствием этой политики явилось падение материального благосостояния людей в связи с ростом инфляции в стране (за год рост произошел в 100—150 раз), недовольство и недоверие масс к правительственному курсу. После отстатки правительства Е. Гайдара, с конца 1992 г. началась массовая приватизация, которая проходила в два этапа: 1) 1992—1993 гг. — безвозмездная передача гражданам части государственной собственности стоимостью 10 тыс. руб. путем выдачи приватизационного чека; 2) с осени 1994 г. — приватизация государственных предприятий путем прямого акционирования и начало продажи акционерных предприятий. Последствиями приватизации стало: с одной стороны, произошел крупномасштабный обман народа, с другой — почти все лучшие предприятия оказались в руках небольшой группы московских «уполномоченных» банкиров. Следствием приватизации стал рост экономической преступности, злоупотреблений и коррупции. В результате основная часть национального достояния оказалась в руках 10% населения. Началось разрушение колхозов и совхозов, из которых стали выделяться фермерские хозяйства.

41. В 1994—1998 гг. правительством предпринимаются меры по сдерживанию спада производства и падению эффективности экономики, которые включали: 1) ограничение и отмена централизованного распределения сырья и ресурсов; 2) отмена государственных дотаций убыточным предприятиям; либерализация внешней торговли, расширение импорта потребительских и продовольственных рынков; 4) свободная конвертация рубля; 5) крупномасштабные внешние займы; 6) неконтролируемый вывоз материальных ценностей за рубеж. Результатами проводимой политики были: а) развал военно-промышленного комплекса и бюджетных сфер; б) спад промышленного производства в стране; в) падение спроса на отечественную продукцию; г) деиндустриализация: промышленное производство все более приобретало черты топливо-энергетической и сырьевой ориентации; д) падение сельскохозяйственного производства; е) имущественная дифференцация и скрытая безработица; ж) полная зависимость российской экономики от Запада в лице международных финансовых организаций; з) нарушение экономических связей между регионами страны и распад единой народнохозяйственной структуры; и) рыночные отношения приобрели откровенно криминальный характер. В 1998 г. правительство В.С, Черномырдина предприняло ряд мер в целях выхода из финансового кризиса. С 1 января 1998 г. прошла деноминация введены

новые российские деньги, уменьшенные по поминалу в 1000 раз, в обращение вновь вернулась копейка. Однако экономика по-прежнему катастрофически разрушалась. 23 марта правительство Черномырдина отправлено в отставку, и новым премьер-министром стал С.В. Кириенко. 17 августа 1990 г. С.В. Кириенко выступил с заявлением о прекращении выплат по обязательствам государства и моратории на выплату долго зарубежным банкам (дефолт — отказ от принятых ранее на себя обязательств). Как следствие, отставка правительства, высокая инфляция (до 60%) и рост цен. Наступил крах рыночной инфраструктуры и кризис банковской системы и рынка ценных бумаг. В последующее время одно за другим менялись правительства Е.М. Примакова, С.В. Степашина, В.В. Путина. Им удалось несколько стабилизировать экономическую и политическую ситуацию в стране.

42. Экономические и политические проблемы усложнялись серьезными негативными явлениями в отношениях между центром и национальными окраинами. Некоторые субъекты РФ, провозгласив себя суверенными, приняли конституции, в которых были значительные отклонения от Конституции РФ. Особенно напряженно сложились отношения Центрального правительства и Чечни. В конце 1991 г. руководство Чечни объявило о создании независимой Чеченской республики Ичкерия. Внутри самих чеченцев началась борьба за сферы влияния, которая при вмешательстве федеральных властей и силовых структур вылилась в 1994 г. в гражданскую войну. 11 декабря 1994 г. началась операция федеральных войск, превратившая внутричеченский конфликт в полномасштабную войну с многочисленными человеческими жертвами. В конце 1996 г. неожиданным результатом завершились военные действия в Чечне. По заключенному договору российские войска были выведены из Чечни, и там начались преследования тех, кто поддерживал российское правительство. В январе 1997 г. Президентом Чечни избран А. Масхадов. В мае в Москве Б.Н. Ельцин и А. Масхадов подписали Договор о мире и принципах взаимоотношений между РФ и Чеченской республикой Ичкерией. Однако напряженность оставалась, продолжались захваты заложников. Ситуация обострилась осенью 1999 г.: 4 сентября взорван жилой дом в г. Буйнакске; 9 сентября в г. Москве на улице Гурьянова; 13 сентября взорван дом на Каширском шоссе; 16 сентября жилой дом в Волгодонске. В течение этого периода контакты Москвы и Чечни были свернуты. В качестве ответной меры российское правительство во главе с В.В. Путиным приняло решение использовать в борьбе с террористами силовые методы. Началась вторая чеченская кампания. После завершения в 2000 г. активной фазы боевых действий и назначения в июне 2000 г. муфтия Чечни А. Кадырова главой временной администрации, сопротивление боевиков перешло в фазу террористической войны. В 2000—2003 гг. федеральный центр предпринял меры по нормализации политической и экономической ситуации в республике. В марте 2003 г. в ходе референдума жители Чечни приняли новую конституцию, в которой оговорено, что Чеченская республика является частью Российской Федерации. В этой конституции республике

предоставляются широкие полномочия в пределах российского законодательства. В октябре 2003 г. прошли выборы президента Чеченской республики, на которых победил А. Кадыров. В целом федеральный центр сделал ставку на решение проблем этой республики силами чеченских лидеров, а не насаждением представителей из Москвы. С другой стороны, власти России не отказались от ведения переговоров с лидерами боевиков в 2001 г., но они оказались безрезультатными. С осени 2002 г. боевики развернули активную террористическую войну: захват зрителей мюзикла «Норд-Ост» в г. Москве (23 октября 2002 г.); декабрь 2002 г. — взорван дом правительства в г. Грозном; июль 2001 т. — взрыв на рок-фестивале в Тушино; февраль 2004 г. —взрыв поезда метро в Москве; 9 мая 2004 г. в результате теракта погиб глава Чечни — А. Кадыров;. 1 сентября 2004 г. захват школы в г. Беслане. С 2005 г. обстановка в Чеченской республике стабилизируется. Избранный в марте 2007 г. президентом Чеченской республики Р. Кадыров проводит политику по интеграции боевиков, не запятнанных себя тяжкими преступлениями, общество и параллельно ведет войну на уничтожение лидеров боевиков. В июле 2006 г. уничтожен лидер всего террористического подполья на Северном Кавказе Ш. Басаев, ранее был ликвидирован А. Масхадов.

43. Основными направлениями политики Президента В,В. Путина в 2000—2008 гг. стали: в политической сфере — укрепление вертикали государственной власти и достижение политической стабильности в обществе, для чего были созданы 7 федеральных ок лями президента; изменен принцип формирования верхней па- латы Федерального собрания - Совета Федерации - и превращение его в, постоянно действующий законодательный орган; создание Государственного совета РФ как совещательно-консультативного органа глав субъектов РФ при Президенте РФ; осуществление административной реформы; изменение избирательного законодательства (выборы в ГД по пропорциональной системе, изменен, порог явки на выборы и т.д.). В социально- экономической сфере: продолжение курса на либерализацию экономики, Ослабление бюрократической опеки и контроля со стороны государства за предпринимательской деятельностью, принятие мер, направленных на поддержку малого и среднего бизнеса; Сокращение налогового бремени, введение 13%-ного подоходного нрлогй; проведение социальных реформ (пенсионной, монетизации льгот, здравоохранения); начало проведения и финансирования национальных проектов: «Здоровье», «Качественное образование», «Доступное и комфортное жилье», «Развитие агропромышленного комплекса». В сфере международных отношений: принятие новой концепции внешней политики России, исходя из многополярной системы международных отношений; развитие партнерских отношений со всеми странами мира; поддержка западных стран в борьбе с терроризмом. Среди итогов проведения такой политики можно выделить: восстановление единства России; отражение угрозы со стороны сепаратизма; восстановление экономики страны после затяжного кризиса 1990-х гг.

(реальные доходы граждан за 8 лет увеличились в 2,5 раза и превысили уровень 1990 г., по размеру своей экономики Россия заняла седьмое место в мире); погашена значительная часть государственного долга; наблюдался рост ВВП; Россия стала занимать место полноправного партнера в мировой политике. В марте 2008 п Президентом РФ был избран Д.А. Медведев.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.02 ИСТОРИЯ

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Специальность
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Управления персоналом	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Ветошкина Т.А	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	4
2	Методические указания по подготовке к опросу	8
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	9
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	10
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	11
	Заключение	14
	Список использованных источников	15

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентовonline и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентовс текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия,

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в

качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;
- время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю; групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим метода

2. Методические указанияпо подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

В соответствии с технологической картой письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются дляосвещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии[2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубинаответа.
3. Сознательность ответа(учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложенияматериала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

3.Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;
- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой дискуссию в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной

дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия (от доски смелом до самых современных технических средств), демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения

воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины, Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;

- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Профиль
Производство и реновация машин и оборудования

квалификация выпускника: **бакалавр**

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Иностранных языков и деловой коммуникации	горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Юсупова Л. Г.	к.т.н., доцент Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 6 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям……... 3
1.1 Повторение материала практических занятий……..... 3
1.2 Чтение и перевод учебных текстов……. 42
1.3 Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций) ..……..... 60
1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения) ……. 73
1.5 Подготовка к контрольной работе 73

II. Другие виды самостоятельной работы……. 73
2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания:
2.1.1 Подготовка к ролевой игре……..... 73
2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию ……. 74
2.1.3 Подготовка к опросу …… 75
2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного……. 75
2.3 Подготовка доклада…….. 94
2.4 Подготовка к тесту……..... 95
2.5 Подготовка к экзамену…….. 99

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям

1. Повторение материала практических занятий

Практические занятия направлены на развитие умений иноязычного говорения в рамках заданных РПД тем: бытовая сфера общения (Я и моя семья); учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование); социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир); профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность).

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern

Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world’s largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o’clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don’t like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul’s Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It’s the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent’s Park. The last one is the home of London Zoo.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.

2. Petrology which studies the rocks of the Earth.

3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.

4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.

5. Historic Geology which treats of the Earth's history.

6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.

7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

Практические занятия направлены также на формирование грамматического навыка по темам: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №1:

Таблица №1

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435

Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

Повторите материал практических занятий!

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	**II**	**III Дополнение**			**IV Обстоятельство**
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.
Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?
Примеры с модальными глаголами:
She can drive a car. – Она умеет водить машину.
Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.
Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?
Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not
Например: Are you a student? - Ты студент?
Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.
Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.
Специальные вопросы могут начинаться словами:
who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?
when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?
how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?
how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:
What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: ”Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?”, например:
What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)
The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:

You speak French, don't you? You are looking for something, aren't you? Pete works at a plant, doesn't he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:

It is not very warm today, is it? John doesn't live in London, does he?

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему
she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас

they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы - основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some		**something –** *что-то, что-нибудь*
any		**anything -** *что-то, что-нибудь*
	thing	
no		**nothing -** *ничего, ничто*

every	**everything** - *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone –** *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone -** *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one -** *никого, никто*
every	**everybody /everyone –** *все, каждый*
Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*	

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere** - *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere** - *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.	
many girls - *много девочек* **many boys** - *много мальчиков* **many books** - *много книжек*	**much snow** - *много снега* **much money** - *много денег* **much time** - *много времени*
How many? } **сколько?** **How much?** } **сколько?**	**How many girls?** - *Сколько девочек?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?*
a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными a lot без (of) используется и без существительного.	girls – много девочек **a lot of** sugar - много сахара
Сравните: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.* He writes **a lot.** *Он много пишет.*	
<u>В утвердительных</u> предложениях используйте **a lot of.** <u>В отрицательных</u> и в вопросительных **many/much,** **Сравните:** (+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*. (-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?* Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":** Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.	

Few, little, a few, a little
С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало),
а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг **few girls** - мало девочек **few boys** - мало мальчиков	**little time** - мало времени **little money** - мало денег **little snow** - мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)** **few** } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)** **a few** } **немного (т.е. пока хватает)**

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	**Возвратное местоимение**	**Пример**	**Перевод**
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	**Примеры**	**Перевод**
определяет неисчисляемые	He spent **all his** time fishing on the	Он провел все свое время,

существительные	lake**.**	ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I've got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You've got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч. (Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)

the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики
2) согласная **+** y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):

This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It's a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**'s**	**bird's house** **child's ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**'s**	**children's bail** **women's rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**'**	**girls' toy** **birds' house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother's book - мамина книга,

this girl's bail - мячик девочки,

the bird's house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово "an hour" (час) начинается с согласной буквы "h", но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю "a" также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise! Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth

с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner	The table is in the middle of the room.
in the morning, In the evening, in the afternoon	I never drink coffee in the evening.
what's the use?	What's the use of going there so late?
to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	Do you like going to the theatre? He works at the shop.
at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market	The fact is that I have no money at all.
the fact is (was) that...	Where is the doctor?
where is the…?	We always spend summer in the country.
in the country, to the country	

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание "no"	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.

с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc НО: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James' Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное местоимение	what animals can swim? I know what thing you have lost!

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты:

His son goes to school. Его сын учится в школе.

She has written an interesting article. Она написала интересную статью.

A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:

"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.

Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:

Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?
I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.

Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.

В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?

She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.

Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.

It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)

There are three books on the desk.

They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.

There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.

This is the same town fifty years ago.

There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.
б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.
в) в следующих высказываниях: I've got a headache. I've got a temperature. I've got a cough, I've got a toothache, I've got a cold, I've got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Have they (got)?
They have (got)	They've (got)	They have not (got)	They haven't (got)	

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе

ни приставок, ни суффиксов: small - *маленький*, **long** - *длинный*, **white** - *белый*.
К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	Пример	Перевод
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting** - интересный
bored - скучающий	**boring** - скучный
surprised - удивленный	**surprising** - удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**
Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:
- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**
- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**
- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и

превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке - добавляем "е" (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er** - холоднее	the cold**est** - самый холодный
big - большой	bigg**er** - больше	the bigg**est** - самый большой
kind - добрый	kind**er** - добрее	the kind**est** - самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
clever — умный	clever**er - умнее**	**the** clever**est - самый умный**
easy - простой	eas**ier - проще**	**the** easi**est - самый простой**
able - способный	abl**er - способнее**	**the** abl**est - самый способный**
busy - занятой	bus**ier - более занятой**	**the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **"e" ,** то при прибавлении **– er и – est немое "e" опускается:**

larg**e – larg**er - **the** larg**est /** большой – больше – самый большой

brav**e – brav**er **– the** brav**est /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – bigg**er –** bigg**est /** большой – больше – самый большой

hot – hott**er –** hott**est /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на "y" с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **"y" переходит в "i":**

busy – bus**ier – busiest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful - красивый	**more beautiful** - красивее	**the most beautiful** - самый красивый
interesting – интересный	**more interesting** - интереснее	**the most interesting** - самый интересный
important - важный	**more important** - важнее	**the most important** - самый важный

Особые формы

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

good - хороший **bad** - плохой **little** - маленький **much/many** - много **far** - далекий/далеко **old** - старый	**better** - лучше **worse** - хуже **less** - меньше **more** - больше **farther/further** - дальше **older/elder** - старше	**the best** - самый лучший **the worst** - самый плохой **the least** - самый маленький, меньше всего **the most** - больше всего **the farthest/furthest** - самый дальний **the oldest/eldest** - самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful – красивый **interesting -** интересный **important** - важный	**less beautiful** - менее красивый **less interesting –** менее интересный **less important** - менее важный	**the least beautiful –** самый некрасивый **the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **"of":**

hundreds of children – сотни детей

thousands of birds- тысячи птиц

millions of insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:
224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],
Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.

Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn't use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday

afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,
They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,
She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,
Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Практическая работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: модальные глаголы и их эквиваленты, образование видовременных форм глагола в пассивном залоге, основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь, неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий, основные сведения о сослагательном наклонении.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице:

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Модальные глаголы и их эквиваленты	295	47
Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге	236	71, 115
Основные сведения о согласовании времён	323-328	269
Прямая и косвенная речь	324	268
Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий	311-322	132, 162, 173, 192, 193
Основные сведения о сослагательном наклонении	329	224

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play

		football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника)

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)
This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)
Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)
Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.
My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.
to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.
to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:
Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.
б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить
to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять
to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить
to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать
to teach учить to tell сказать и др.
Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.
Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)
A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:
John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.
The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):
He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать
to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать
to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:
He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:
The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:
The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:
The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)
The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:
The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:
The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:
He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:
I am invited to a party.
Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):
Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.
Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.
I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):
They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:
The experiments were made last year.
1) Опыты были проведены в прошлом году.
2) Опыты проводились в прошлом году.
3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:
It is said… Говорят… It was said… Говорили…
It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…
It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.
Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я

		пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать

to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть

Например:

He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.
Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая

having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),
keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I’m tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

2. Чтение и перевод учебных текстов (по 2 текста на тему)

№1

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

appear - v появляться; казаться; *ant* **disappear** - исчезать

bed - *n* пласт, слой, подстилающие породы; *syn* **layer, seam; bedded** - *a* пластовый

call for - v требовать; *syn* **demand, require**

carry out - v проводить *(исследование, эксперимент);* выполнять *(план);* завершать; *syn* **conduct, make**

colliery - каменноугольная шахта

concentration (dressing) plant - обогатительная фабрика, обогатительная установка

department - *n* отделение, факультет, кафедра; *syn* **faculty**

direct - v руководить; направлять; управлять; *a* прямой, точный; **directly** - *adv* прямо, непосредственно

education - *n* образование; просвещение; **get an education** получать образование

establish - v основывать, создавать, учреждать; *syn* **found, set up**

ferrous metals - чёрные металлы **(non-ferrous metals** цветные металлы)

iron - *n* железо; **pig iron** чугун; **cast iron** чугун, чугунная отливка

open-cast mines - открытые разработки

ore - *n* руда; **iron ore** - железная руда; **ore mining** – разработка рудных месторождений

process - v обрабатывать; *syn* **work, treat; processing** - n обработка; разделение минералов

rapid - *a* быстрый

research - *n* научное исследование

technique - *n* техника, способ, метод, технический прием; **mining technique** - горная техника, методы ведения горных работ

train - v обучать, готовить *(к чему-л.);* **training** - обучение; подготовка

to be in need of - нуждаться в

to take part in - участвовать в

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 1: The First Mining School in Russia

The Moscow Mining Academy was established in 1918. The main task of the Academy was to train mining engineers and technicians, to popularize technological achievements among miners, to work on important problems of mining and metallurgical engineering arid to direct scientific research.

There were three departments in the Academy: mining, geological prospecting and metallurgy. The Moscow Mining Academy introduced a new course in coal mining mechanization which provided the basis for the development of mining engineering. The two scientists A.M. Terpigorev and M.M. Protodyakonov wrote the first textbook on machinery for mining bedded deposits.

Much credit for the establishment of the Moscow Mining Academy and the development of co-operation among outstanding scientists and educators is due to Academician I.M. Gubkin, a prominent geologist and oil expert.

In 1925 the Moscow Mining Academy was one of the best-known educational institutions in Russia. It had well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of Russian and foreign scientific books and journals.

The Academy established close contacts with the coal and ore mining industries. The scientists carried out scientific research and worked on important mining problems.

The rapid growth of the mining industry called for the training of more highly-qualified specialists and the establishment of new educational institutions.

New collieries and open-cast mines, concentration plants, metallurgical works and metal-working factories for processing non-ferrous and ferrous metals appeared in the country. The people took an active part in the construction of new industrial enterprises.

The Academy alone could not cope with the problem of training specialists. In 1930 the Moscow Mining Academy was transformed into six independent institutes. Among the new colleges which grew out of the Academy's departments were the Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting. Later, the scientific research Institute of Mining appeared near Moscow.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. There were four departments in the Academy.
2. The Academy introduced a new course in coal mining mechanization.
3. In 1925 the Academy had only several well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of books.
4. The Academy established close contacts with the coal industry.
5. In 1930 the Academy was transformed into six independent institutes.
6. The Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting were among the new colleges which grew out of the Academy's departments.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What was the main task of the Academy?
2. What new course did the Academy introduce?
3. Were there three or four departments at the Academy?
4. What industries did the Academy establish contacts with?
5. Who wrote the first textbook on machinery' for mining bedded deposits?
6. Why was the Academy transformed into six independent institutes?
7. Why was the Academy transformed?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) обогатительная фабрика
б) подготовка горных инженеров
в) разведка нефти
г) обработка цветных металлов

д) техническое образование
е) новый (учебный) курс по
ж) принимать активное участие
з) проводить исследования
и) направлять научную деятельность
к) горное оборудование
л) пластовые месторождения

№2

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

change - v изменяться, менять(ся); *syn.* **transform, alter;** *n* изменение, перемена; превращение

determine - v определить, устанавливать

engineering - *n* техника; технология; машиностроение**;** *syn.* **technics, technology, technique; machinery**

composition - *n* структура, состав

connect - v соединяться; *syn* **combine, link**

enterprise - *n* предприятие; предприимчивость

deal (dealt) v **(with) -** иметь дело с; рассматривать

environment - *n* окружающая обстановка**,** среда

demand - *n* спрос

field - *n* область, сфера деятельности; поле, участок, месторождение; бассейн; *syn* **basin, branch**

design - *n* проект; план, чертеж; конструкция; v проектировать, планировать; конструировать

graduate - v окончить (высшее учебное заведение), *амер.* окончить любое учебное заведение; *n* лицо, окончившее высшее учебное заведение; **undergraduate (student) -** студент последнего курса; **postgraduate (student) -** аспирант; **graduation paper -** дипломная работа

hardware - *n* аппаратура, (аппаратное) оборудование, аппаратные средства; техническое обеспечение

hydraulic - *a* гидравлический, гидротехнический

introduction - *n* введение, вступление

management - *n* управление, заведование; *syn.* **administration; direction**

offer - *v* предлагать *(помощь, работу);* предоставлять; *n* предложение

property - *n* свойство

protection - *n* защита, охрана

range - *n* область, сфера; предел; диапазон; радиус действия; ряд; серия

recreation - *n* отдых, восстановление сил; развлечение

reveal - v показывать, обнаруживать

rock - *n* горная порода

shape - *n* форма

software - *n* программное обеспечение; программные средства

skill - *n* мастерство; умение; **skilled -** *a* квалифицированный; опытный; умелый

survey - *n* съемка, маркшейдерская съемка; v производить маркшейдерскую или топографическую съемку, производить изыскания; *n* **surveying** съемка, маркшейдерские работы

value - *n* ценность, стоимость; величина; v ценить, оценивать; **valuable** *a* ценный

workshop - *n* мастерская, цех; семинар

to be of importance - иметь значение

to give an opportunity of - дать возможность

to meet the requirements - удовлетворять требованиям (потребности)

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 2: Mining and Geological Higher Education in Russia

In Russia young people get mining education at special institutes which train geologists and mining engineers for coal and ore mining. The total number of students of an institute includes full-time students, part-time students and postgraduate students.

Russian higher educational establishments offer different specializations for the students. Thus, at the geological institutes, the students specialize in geology, the science which deals with different problems connected with the Earth, its history, the study of rocks, their physical and chemical properties. One of the main tasks of geology is to prospect, discover and study the deposits of useful minerals.

Geology is both a theoretical and an applied science. Mining geology is of great importance to the mining engineer. As a rule, mining geology includes economic geology.

The outstanding Russian geologist V.A. Obruchev says that geology is the science of the Earth which reveals to us how the Earth took shape, its composition and its changes. Geology helps prospect for ores, coal, oil, salt and other useful minerals.

Higher mining schools (universities, academies, institutes and colleges) develop a wide range of courses and programmes that meet the requirements of the society .They offer courses in mining technology, machinery and transport, hydraulic engineering, electrical engineering, industrial electronics, automation, surveying, geodesy, information technology, etc.

The main trend in the development of higher mining education is the introduction of courses in environmental protection, management (environmental human resources), economics and management of mining enterprises, marketing studies, computer-aided design (CAD) and others.

Computer science is also of great importance. The course aims at providing students with understanding how software and hardware technology helps solving problems.

Laboratory work is an important part in training specialists. Experiments in laboratories and workshops will help students to develop their practical skills. They have a short period of field work to gain working experience.

The students go through practical training at mines, plants and other industrial enterprises.. They become familiar with all stages of production and every job from worker to engineer. Here they get practical knowledge and experience necessary for their diploma (graduation) papers.

A lot of students belong to students' scientific groups. They take part in the research projects which their departments usually conduct. Postgraduates carry out research in different fields of science and engineering.

Sport centres give the students opportunities to play different sports such as tennis, football, basketball, volleyball, swimming, ' skiing, water polo, boxing, wrestling and others.

Students graduate from mining and geological higher schools as mining engineers, mining mechanical engineers, ecologists, mining electrical engineers, geologists, economists and managers for mining industry.

1. Переведите следующие сочетания слов.

а) широкий круг проблем
б) денные месторождения полезных ископаемых
в) горный инженер-механик
г) вести научно-исследовательскую работу
д) принимать форму
е) техническое и программное обеспечение
ж) студенты (последнего курса)
з) дипломная работа
и) физические и химические свойства
к) месторождение полезных ископаемых

1. оканчивать институт
2. поступать в университет
3. получать образование

4. готовить геологов и горних инженеров
5. высшие горные учебные заведения
6. приобретать опыт
7. студенческие научные общества
8. заниматься различными видами спорта

№3

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accurate - *a* точный, правильный; **accuracy** - *n* точность

archive - *n* архив

attend - v посещать *(лекции, практические занятия, собрания)*

comprehensive - *a* всесторонний, исчерпывающий

concern - v касаться, относиться; иметь отношение к чему-л.; *n* дело, отношение; важность; **concerning** *prep* относительно, касательно

consider - v рассматривать; считать; **considerable** - значительный, важный; **consideration** - *n* рассмотрение; обсуждение

draw (drew, **drawn**) - v *зд,* чертить, рисовать; **draw the conclusion** делать вывод; *syn* **come to the conclusion**

employ - v применять, использовать; предоставлять *(работу); syn* **use, utilize, apply; employment** - *n* служба; занятие; применение, использование

familiarize - v знакомить; осваивать

fundamental - *n pl* основы *(наук)*

levelling - *n* нивелирование, сглаживание *(различий);* выравнивание

number - *n* число, количество, большое количество; *(порядковый)* номер, ряд

observe - v наблюдать, следить *(за чём-л.),* соблюдать *(правило, обычаи)*

obtain - v получать; достигать; добывать; *syn* **get, receive**

present - v преподносить, дарить; подавать, представлять; **presentation** - *n* изложение; предъявление

proximity - *n* близость, соседство; **in proximity to** поблизости, вблизи от *(чего-л.)*

require - v требовать; *syn* **call for; demand; meet the requirements** удовлетворять требованиям

traversing - *n* горизонтальная съемка

to keep in close touch with - поддерживать связь с

to touch upon (on) затрагивать, касаться вкратце *(вопроса)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 3: Mining Education in Great Britain

In Great Britain the students get mining education at special colleges and at mining departments of universities.

For example, the Mining Department at the University of Nottingham ranks as one of the foremost teaching and research mining schools in Great Britain. The students come to the University from all parts of the country and from abroad. The close proximity of Nottingham to mines extracting coal and different metals makes it possible for the University to keep in close touch with new achievements in mining.

The aim of training at the University is to give the student an understanding of applied science based on lectures, tutorial system, laboratory work and design classes. The laboratory work trains the student in accurate recording of observations, drawing of logical conclusions and presentation of scientific reports. Besides, it gives the student an understanding of experimental methods and familiarizes him (or her) with the characteristics of engineering materials, equipment and machines.

At Nottingham there are two types of laboratories, general and Specialized. General laboratories deal with the fundamentals of engineering science and specialized ones1 study the more specialized problems in different branches of engineering.

During the final two years of his course the student gets a comprehensive training in surveying. Practical work both in the field and in drawing classes forms an important part of this course. Besides, the students have practical work in survey camps during two weeks. The equipment available for carrying out traversing, levelling, tacheometric and astronomical surveying is of the latest design.

The practical and laboratory work throughout the three or four years of study forms a very important part of the course, so the students obtain the required standard in their laboratory course work before they graduate.

British educational system is fee-paying. The annual fee includes registration, tuition, examination, graduation and, in the case of full-time students, membership of the Union of Students.

Students from all over the world (nearly 100 countries) study at the University of Nottingham. For many years the University has had a thriving community of international students.

The University pays much attention to learning foreign languages. For individual study there is a 16-place self-access tape library with a tape archive of 3,000 tapes in 30 languages. There are also 16 video work stations where the students play back video tapes or watch TV broadcasts in a variety of languages.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. In Great Britain the students can get mining education only at special colleges.
2. The training at universities is based on tutorial system.
3. The laboratory work familiarizes the student with modern equipment.
4. There are three types of laboratories at the University of Nottingham.
5. When the students study surveying, they have practical work both in the field and in drawing classes.
6. The students from abroad don't study at Nottingham.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Where can one get mining education in Great Britain?
2. Is the Mining Department at the University of Nottingham one of the foremost research mining schools in Great Britain?
3. What makes it possible for the University to keep in close touch with the, achievements in mining?
4. What are the students supposed to do in the laboratories?
5. Will the students have practical work in survey camps or in the laboratories?
6. What do the students use surveying equipment for?
7. What can you say about studying foreign languages at the University?

№4

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advance - *n* прогресс, успех; продвижение вперед; v делать успехи, развиваться, продвигаться вперед; **advanced courses** курсы по расширенной программе

authority - *n* администрация; начальство

differ - v (from) отличаться (от); **difference** *n* различие; разница; **different** *a* различный; *syn* **various**

excavate - v добывать *(уголь);* вырабатывать полезное ископаемое открытым способом; вынимать *(грунт);* **excavation** - *n* открытая разработка карьером; разрез, карьер; **surface excavation** открытая разработка; *syn* **open-cast (opencast)**

experience - *n* жизненный опыт; опыт работы; стаж

found - v основывать**; *syn* establish, set up; foundation** - *n* основание; учреждение; основа; **lay the foundation** положить начало чему-л , заложить основу чего-л.

manage - v управлять, заведовать, справляться, уметь обращаться; **management** - *n* управление, заведование; правление, дирекция; **management studies** - наука об управлении

mean (meant) - *v* значить, иметь значение, подразумевать; намереваться, иметь в виду; **means** - *n, pl* средства, **meaning** - *n* значение, **by means of** посредством (чего-л)

metalliferous – *a* содержащий металл, рудоносный

preliminary - *a* предварительный**; preliminary course** подготовительные курсы

realize - v представлять, себе; понимать *(во всех деталях); **syn*** **understand**

recognize - *v* признавать; узнавать

work out -v разрабатывать *(план);* решать задачу

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 4: Mining Education in Great Britain (continued)

At present in Great Britain there are a number of universities and colleges which give instruction in mechanical engineering, mining, metallurgy, etc. These institutions provide full-time and part-time education. It should be noted that technical colleges confer diplomas' on college graduates.

A university graduate leaves with the degree of Bachelor of Arts or Bachelor of Science, which is an academic qualification awarded by universities.

For example, the University in Cardiff has become one of the largest in Wales. It is one of the four colleges which together with the Welsh National School of Medicine form the University of Wales. There is the Mining Engineering Department in the University of Wales. The Department deals with the whole range of extractive industries such as coal and metalliferous mining, quarrying and oil technology.

After graduating from the college a student can be recommended for entry to the university by a college authority and he can apply for admission to the university.

At the Mining Department students may take several courses such as geology, mining engineering, mine surveying, quarrying, management studies and others. It has become a tradition that the courses are based on an intensive tutorial system. It means that students are allotted to members of the teaching staff for individual tuition separately in mining, in quarrying and in mine surveying. The system is founded on that of the older universities of Great Britain.

At the Department of Mining Engineering of the Newcastle University mining has now become a technically advanced profession. The Department of Mining Engineering trains industrially experienced engineers through various advanced courses in rock mechanics and surface excavation. For many years the Mining Engineering Department at Newcastle has recognized the need for highly-qualified engineers and realized that the courses in rock mechanics and surface excavation are of great importance for mining engineers.

At the University a student studies for three or four years. The organization of the academic year is based on a three-term system which usually runs from about the beginning of October to the middle of December, from the middle of January to the end of March and from the middle of April to the end of June or the beginning of July.

Students course is designed on a modular basis. Modules are self-contained 'units' of study, which are taught and assessed independently of each other. When a student passes a module, he (she) gains a credit. All modules carry a number of credits. At the end of the term, the number of credits a student gets, determines the award he (she) receives. Each module is continuously assessed by coursework and/or end-of-term examinations.

Admission to the British universities is by examination and selection. The minimum age for admission to the four-year course is normally 18 years. Departments usually interview all the candidates. The aim of the interview is to select better candidates.

Just over half of all university students live in colleges, halls of residence, or other accommodation provided by their university, another third lives in lodgings or privately rented accommodation; and the rest live at home.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. At present there are about a hundred technical institutions in Great Britain.
2. It should be noted that British colleges confer degrees.
3. As a rule a college authority recommends the graduates for entry to the university.
4. At the Mining Engineering Department of the University of Wales the students study only metalliferous mining.
5. At the Mining Engineering Department the courses are based on an intensive tutorial system.
6. The Mining Engineering Department at the Newcastle University has recognized the importance of teaching rock mechanics and surface excavation (open-cast mining).

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Are there many technical institutions in Great Britain?
2. What is the difference between colleges and universities?
3. Is the Mining Engineering Department the only one in the University of Wales?
4. Does the Mining Engineering Department deal only with metalliferous mining?
5. Can a student enter the university after he has graduated from the college?
6. What courses are of special importance for mining engineers?
7. What do you know about the organization of the academic year at British universities?
8. When do the students take their examinations?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) курсы по расширенной программе
б) рудоносные отложения
в) средства производства
г) горный факультет
д) открытые горные работы
е) опытный инженер
ж) администрация колледжа
з) поощрять студентов
и) отвечать требованиям университета
к) наука об управлении

1. зависеть от условий
2. значить, означать
3. признать необходимость (чего-л.)
4. ежегодная производительность (шахты)
5. начальник шахты
6. добывающая промышленность
7. представлять особую важность
8. механика горных пород
9. единственный карьер
10. основывать факультет (школу, систему и т.д.)

№5

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный
adjacent - *a* смежный, примыкающий
ash - *n* зола
belt - *n* пояс; лента; ремень
body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты
common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**
cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**
dust - *n* пыль
dyke – *n* дайка
extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*
fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь
flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 5: Igneous Rocks

Igneous rocks have crystallized from solidified magma.

Igneous rocks can be classified in a number of ways and one of (hem is based on mode of occurrence. They occur either as intrusive (below the surface) bodies or as extrusive masses solidified at the Earth's surface. The terms "intrusive" and "extrusive" refer to the place where rocks solidified.

The grain size of igneous rocks depends on their occurrence. The intrusive rocks generally cool more slowly than the extrusive rocks and crystallize to a larger grain size. The coarser-grained intrusive rocks with grain size of more than 0.5 mm called plutonic or abyssal are referred to as intrusive igneous rocks because they are intruded into older pre-existing rocks. Extrusive or volcanic rocks have even finer grains, less than 0.05 mm and are glassy.

Exposed igneous rocks are most numerous in mountain zones for two reasons. First, the mountain belts have been zones of major deformation. Second, uplifts in mountain belts have permitted plutonic masses to be formed.

The largest bodies of igneous rocks are called batholiths. Batholiths cooled very slowly. This slow cooling permitted large mineral grains to form. It is not surprising that batholiths are composed mainly of granitic rocks with large crystals called plutons. As is known, granites and diorites belong to the group of intrusive or plutonic rocks formed by solidification of igneous mass under the Earth's crust. Granites sometimes form smaller masses called stocks, when the occurrence has an irregular shape but smaller dimensions than the batholiths.

Laccoliths and sills, which are very similar, are intruded between sedimentary rocks. Sills are thin and they may be horizontal, inclined or vertical. Laccoliths are thicker bodies and in some cases they form mountains.

Dykes are also intrusive bodies. They range in thickness from a few inches to several thousand feet. Dykes are generally much longer than they are wide. Most dykes occupy cracks and have straight parallel walls. These bodies cool much more rapidly and are commonly fine-grained. For example, granite may occur in dykes that cut older rocks.

Pegmatites (quartz, orthoclase and mica) also belong to the group of plutonic or intrusive rocks. They occur in numerous veins which usually cut through other plutonites, most often granite, or adjacent rocks.

Extrusive igneous rocks have been formed from lava flows which come from fissures to the surface and form fields of volcanic rocks such as rhyolite, andesite, basalt, as well as volcanic ashes and dust, tuff, etc. As a rule, these rocks of volcanic origin cool rapidly and are fine-grained. It is interesting to note that basalt is the most abundant of all lavatypes. It is the principal rock type of the ocean floor.

Igneous rocks are rich in minerals that are important economically or have great scientific value. Igneous rocks and their veins are rich in iron, gold, zinc, nickel and other ferrous metals.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Igneous rocks have been formed by sedimentation.
2. Intrusive rocks have been formed by the cooling of rocks of the Earth's crust.
3. Extrusive rocks have been formed the same way.
4. The grain size of igneous rocks depends on mode of occurrence.
5. Exposed igneous rocks are numerous in mountain zones.
6. Granites and diorites belong to the group of extrusive rocks.
7. As a rule, granite may occur in dykes.
8. Pegmatites do not belong to the group of plutonic or intrusive rocks.

2). Ответьте на вопросы:

1. Have igneous rocks crystallized from magma or have they been formed by sedimentation?
2. Which types of igneous rocks do you know?
3. What does the grain size of igneous rocks depend on?
4. Can you give an example of intrusive or plutonic rocks?
5. Are diorites intrusive or extrusive formations?
6. What do you know about batholiths?
7. Do pegmatites belong to the group of plutonic or volcanic rocks?
8. How do pegmatites occur?
9. What minerals are igneous rocks rich in?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	adjacent layers	а) способ залегания
2.	abyssal rocks	б) крупнозернистый
3.	dimensions of crystals	в) зоны крупных нарушений
4.	valuable minerals	г) абиссальные (глубинные) породы
5.	shape and size of grains	д) смежные пласты (слои)
6.	mode of occurrence	е) размеры кристаллов
7.	coarse-grained	ж) взбросы
8.	uplifts	з) форма и размер зерен
9.	zones of major deformation	и) ценные минералы

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1.	затвердевшие массы	а) irregular shape
2.	обломочные породы	б) at a certain depth
3.	медленно остывать	в) economically important
4.	мелкозернистый	г) solidified masses
5.	многочисленные трещины	д) scientific value
6.	неправильная форма	е) to cool slowly
7.	на определенной глубине	ж) existing types of rocks
8.	экономически важный	з) fine-grained
9.	научная ценность	и) fragmentary rocks

10. существующие типы пород к) numerous cracks or fissures

№6

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 6: Metamorphic Rocks

The problem discussed concerns metamorphic rocks which compose the third large family of rocks. "Metamorphic" means "changed from". It shows that the original rock has been changed from its primary form to a new one. Being subjected to pressure, heat and chemically active fluids beneath the Earth's surface, various rocks in the Earth's crust undergo changes in texture, in mineral composition and structure and are transformed into metamorphic rocks. The process described is called metamorphism.

As is known, metamorphic rocks have been developed from earlier igneous and sedimentary rocks by the action of heat and pressure.

Gneisses, mica schists, phyllites, marbles, slate, quartz, etc. belong to the same group of rocks. Having the same mineral composition as granite, gneisses consist chiefly of quartz, orthoclase and mica. However unlike granite, they have a schistose structure. It means that their constituents are distributed in bands or layers and run parallel to each other in one direction. If disturbed the rock cleaves easily into separate plates.

The role of water in metamorphism is determined by at least four variable geologically related parameters: rock pressure, temperature, water pressure, and the amount of water present.

During a normal progressive metamorphism rock pressure and temperature are interdependent, and the amount of water and the pressure of water are related to the sediments and to the degree of metamorphism in such a way that, generally speaking, the low-grade metamorphic rocks are

characterized by the excess of water. The medium-grade rocks defined by some deficiency of water and the high-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.

Many of the metamorphic rocks mentioned above consist of flaky materials such as mica and chlorite. These minerals cause the rock to split into thin sheets, and rocks become foliated.

Slate, phyllite, schist and gneiss belong to the group of foliated metamorphic rocks. Marble and quartzite are non-foliated metamorphic rocks.

The structure of metamorphic rocks is of importance because it shows the nature of pre-existing rocks and the mechanism of metamorphic deformation. Every trace of original structure is of great importance to geologists. It gives an opportunity of analysing the causes of its metamorphism.

Being often called crystalline schists, metamorphic rocks such as gneisses and mica have a schistose structure. Metamorphic rocks represent the oldest portion of the Earth's crust. They are mostly found in the regions of mountain belts where great dislocations on the Earth once took place.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Generally speaking, metamorphic rocks have been developed from ores.
2. Marble, slate and phyllite belong to the group of metamorphic rocks.
3. As is known, unlike granite metamorphic rocks have a schistose structure.
4. It is quite obvious that the role of water in metamorphism is great.
5. As a rule, low-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.
6. Flaky materials cause the rock to split into thin sheets.
7. It should be noted that marble and quartzite are foliated metamorphic rocks.
8. The structure of metamorphic rocks shows the nature of older preexisting rocks and the mechanism of metamorphic deformation as well.
9. All metamorphic rocks are non-foliated.

2). Ответьте на вопросы:

1. Do you know how metamorphic rocks have been formed?
2. Which rocks belong to the group of metamorphic?
3. Does gneiss have the same structure as granite?
4. Is the role of water great in metamorphism?
5. What rocks do we call foliated? What can you say about non-foliated metamorphic rocks?
6. How can geologists trace the original structure of metamorphic rocks?
7. Why are metamorphic rocks often called crystalline schists?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. as a result of the chemical and physical changes
2. constituents of rocks
3. to be subjected to constant development
4. to undergo changes
5. excess of water
6. low-grade ores
7. coal band
8. to cleave into separate layers
9. traces of original structure
10. generally speaking

а) полоса (или прослоек) угля
б) составляющие пород
в) расщепляться на отдельные слои
г) вообще говоря

д) в результате химических и физических изменений
е) избыток воды
ж) изменяться
з) находиться в постоянном развитии
и) низкосортные руды
к) следы первоначальной структуры

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. иметь значение
2. упомянутые выше
3. сланцеватая структура
4. в отличие от гранита
5. недостаток воды
6. существовавшие ранее породы
7. слоистые породы
8. мрамор и сланец
9. гнейс
10. давать возможность
11. определять структуру

а) unlike granite
б) to be of importance
в) pre-existing rocks
г) mentioned above
д) schistose structure
е) to give an opportunity (of doing smth)
ж) to define (determine) rock texture
з) deficiency of water
и) flaky rocks
к) marble and slate
л) gneiss

№7

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

country rock коренная (основная) порода

distinctive properties отличительные свойства

malleable metal ковкий металл

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 7: Prospecting

Mining activities include prospecting and exploration for a mineral deposit through finding, proving, developing, extracting and processing the ore. That is why it is possible to divide the mining activity into three major phases: 1) before mining which involves prospecting and exploration required to locate, characterize and prove a potential ore body; 2) mining which refers to actual coal or ore extraction. Extraction processes include underground or surface mining and dredging; 3) after mining which involves processing and preparing the raw ore for the end product.

As has already been said, before a mineral deposit can be worked, that is, before it can be extracted from the Earth for use by man, it must first be found. The search for economically useful mineral deposits is called prospecting. To establish the quality and quantity of a mineral deposit, the type of country rock, etc. means to prove it and this process is called proving. Prospecting and proving are only two different stages of mining geological exploration, the latter includes drilling and driving of openings.

Last century prospectors looked for visible evidence of mineralization on the surface of the Earth. To recognize valuable minerals it was necessary to know their various distinctive physical properties. For example, gold occurs in nature as a heavy malleable yellow metal. -Galena, the most important mineral containing lead, is dark grey, heavy and lustrous. The first ores of iron to be mined were deposits of magnetite, a black heavy mineral capable of attracting a piece of iron.

As the deposits of mineral that cropped out at the surface were mined, the search for additional supplies of minerals took place. The science of geology was used to explain the occurrence of ore deposits.

The aim of geological prospecting is to provide information on a preliminary estimation of the deposit and the costs of the geological investigations to be made. It also indicates whether it is available to continue the exploration or not.

Prospecting work includes three stages: 1) finding signs of the mineral; 2) finding the deposit; 3) exploring the deposit.

General indications of the possibility of exposing this or that mineral in a locality can be obtained by studying its general topographical relief, the type of ground and its general natural conditions. Thus, in mountainous regions where fissures were formed during the process of mountain formation, ore minerals could be expected in the fissure fillings. In hilly regions, sedimentary deposits would be expected.

Certain deposits are found only in a particular type of ground. Coal seams, for example, are found in sedimentary formations mainly consisting of sandstones and shales. Veins, on the other hand,

are found in crystalline (igneous) rocks, and the type of country rock usually determines the type of minerals.

At present, prospecting methods to be used are as follows:

1. Surface geological and mineralogical prospecting such as panning.
2. Geophysical, geochemical, geobotanical prospecting.
3. Aerial photography with geological interpretation of the data to be obtained is highly effective from aircraft or helicopter. Besides, successful development of space research has made it possible to explore the Earth's resources from space by satellites.

In modern prospecting the methods mentioned above are used together with the study of geological maps.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The search for economically useful mineral deposits is called proving.
2. Last century prospectors looked for visible evidence of mineral deposits.
3. The first ores of iron to be mined were deposits of galena.
4. The science of geology can explain the mode of occurrence of ore deposits.
5. As a rule prospecting includes four stages.
6. The study of general topographical relief and the type of ground makes it possible to expose this or that deposit.
7. Geologists know that certain deposits are only found in a particular type of ground.
8. As is known, veins are found in metamorphic rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is prospecting?
2. What is proving?
3. How did prospectors find mineral deposits in the 19th century?
4. Does gold occur in nature as a heavy malleable yellow metal or as a heavy dark-grey one?
5. What metal is capable of attracting a piece of iron?
6. What does prospecting work provide?
7. What are the three main stages of prospecting?
8. Is it enough to know only the topographical relief of a locality for exposing this or that mineral?
9. What methods of prospecting do you know?
10. What are the most effective aerial methods of prospecting now?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. country rock	а) залегание рудных месторождений
2. panning	б) блестящий металл
3. the search for commercially useful deposits	в) коренная (основная) порода
4. geological exploration	г) дополнительные запасы минералов
5. to look for evidence of mineralization	д) промывка (золотоносного песка в лотке)
6. distinctive properties	е) геологическая разведка (с попутной добычей)
7. lustrous metal	ж) искать доказательства наличия месторождения
8. capable of attracting a piece of iron	з) отличительные свойства
9. additional supplies of minerals	и) поиски экономически полезных месторождений
10. the occurrence of ore deposits	к) способный притягивать кусок металла

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	стоимость геологических исследований	а) the data obtained
2.	выходить на поверхность (обнажаться)	б) galena, sandstones and shales
3.	произвести предварительную оценку (месторождения)	в) the cost of geological investigations
4.	визуальные наблюдения с воздуха	г) to crop out
5.	полученные данные	д) certain ore deposits
6.	галенит, песчаники и сланцы	е) to make a preliminary estimation (of a deposit)
7.	общие показания	ж) visual aerial observations
8.	находить признаки месторождения	з) to find the signs of a deposit
9.	определенные рудные месторождения	и) general indications

№8

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 8: Exploration of Mineral Deposits

Exploration is known to include a whole complex of investigations carried out for determining the industrial importance of a deposit. The main task is to determine the quality and quantity of mineral and the natural and economic conditions in which it occurs. The exploration of the deposit is divided into three stages, namely preliminary exploration, detailed exploration and exploitation exploration.

The aim of preliminary exploration is to establish the general size of a deposit and to obtain an approximate idea of its shape, dimensions and quality. At this stage the geological map of the deposit is corrected and a detailed survey of its surface is completed.

The information on the preliminary exploration is expected to give an all-round description of the deposit which will enable the cost of its detailed exploration to be estimated.

The following points should be taken into consideration: 1) the shape and area of the deposit; 2) its depth and angles of dip and strike; 3) its thickness; 4) the properties of the surrounding rock and overburden; 5) the degree of uniformity of distribution of the mineral within the deposit and the country rock, etc.

Preliminary explorations can make use of exploratory openings such as trenches, prospecting pits, adits, crosscuts and boreholes. They are planned according to a definite system, and some are driven to a great depth.

All the exploratory workings are plotted on the plan. These data allow the geologist to establish the vertical section of the deposit.

The quality of the mineral deposit is determined on the basis of analyses and tests of samples taken from exploratory workings.

The method of exploration to be chosen in any particular case depends on the thickness of overburden, the angle of dip, the surface relief, the ground water conditions and the shape of the mineral deposit.

The task of the detailed exploration is to obtain reliable information on the mineral reserves, their grades and distribution in the different sectors of the deposit. Detailed exploration data provide a much more exact estimate of the mineral reserves.

Mine or exploitation exploration is known to begin as soon as mining operations start. It provides data for detailed estimates of the ore reserves of individual sections. It facilitates the planning of current production and calculating the balance of reserves and ore mined.

The searching and discovering of new mineralized areas are based on geological survey and regional geophysical prospecting. The results of these investigations provide data on iron-bearing formations and new deposits for commercial extraction.

In detailed exploration both underground workings and borehole survey are used. Core drilling with diamond and carbide bits is widely used. Non-core drilling is also used in loose rocks in combination with borehole geophysical survey.

One of the main methods to explore coal deposits is also core-drilling. Modern drilling equipment makes it possible to accurately measure bed thickness and determine structure of beds, faults and folds. Recording control instruments are attached to drilling rigs which allow the geologists to get reliable samples good for nearly all parameters of coal quality to be determined.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The purpose of preliminary exploration is to determine the mineral reserves and their distribution in the different sectors of the deposit.
2. The properties of the surrounding rock and overburden should be taken into consideration during the preliminary exploration.
3. The purpose of the detailed exploration is to find out the quantity (reserves) of the deposit.
4. Exploitation exploration facilitates the planning of current production.
5. Both core drilling and non-core drilling are widely used.

6. Recording control instruments allow geologists to get reliable ore samples.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What stages does exploration include?
2. What is the main purpose of preliminary exploration?
3. What should be taken into consideration by geologists during preliminary exploration?
4. What exploratory openings do you know?
5. Do you know how the quality of the mineral deposit is determined?
6. What is the aim of a detailed exploration?
7. Is core drilling used in prospecting for loose rocks?
8. What is drilling equipment used for?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. bedded deposits
2. core drilling
3. the angle of dip of the seam
4. the thickness of overburden
5. exploratory workings
6. composition of minerals
7. pits and crosscuts
8. to exploit new oil deposits
9. sampling
10. geological section

а) мощность наносов
б) разрабатывать новые месторождения нефти
в) шурфы и квершлаги
г) пластовые месторождения
д) опробование (отбор) образцов
е) угол падения пласта
ж) колонковое бурение
з) геологический разрез (пород)
и) состав минералов
к) разведочные выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. буровые скважины
2. по простиранию пласта
3. равномерность распределения минерала в залежи
4. водоносность пород
5. карбидные и алмазные коронки
6. детальная разведка
7. использовать новые поисковые методы
8. проникать в залежь
9. коренная порода
10. свойства окружающих пород

а) ground water conditions
б) detailed exploration
в) boreholes
г) along the strike of the bed (seam)
д) carbide and diamond bits
е) the uniformity of mineral distribution in the deposit
ж) the properties of surrounding rocks
з) to make use of new prospecting methods
и) country rock
к) to penetrate into the deposit

3. Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций)

Грамматические конструкции представлены на стр. 6 – 40.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

Семья. Family

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister
приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents

приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать;

образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра; **course of studies** - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере; **to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist’s/a pharmacy/a drugstore - аптека

a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки
a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна

a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы

fragmentary - *a* обломочный, пластический

glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing** – *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss** - *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v **(broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive** - *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader** - *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader** - комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing** - *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper** - *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping** - *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(руды)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения)

Самостоятельное изучение тем курса предполагает изучение тем практических занятий, представленных в разделе 1, 2, 3 данных методических указаний студентами заочной формы обучения в межсессионный период.

1.5 Подготовка к контрольной работе и 1.6 Написание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы студентами кафедрой подготовлены *Методические рекомендации и задания к контрольной работе для студентов данной специальности.*

II. Другие виды самостоятельной работы

2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (Подготовка к ролевой игре, к практико-ориентированным заданиям, опросу)

2.1.1 Подготовка к ролевой игре

Студенты получают ролевые карточки. Им необходимо обдумать свою роль, стратегию своей роли, вопросы и ответы.

Role card 1

Sasha

The worst thing about your house is lack of privacy. You share your room with a younger sister. You think she goes through all your stuff. She asks you ambarrassing questions about boys, makes little nasty comments about you.

Your parents treat you like a baby. Your father is too much interested in your studying and homework. Your mother makes you do the work about the house alone. You are going to leave home as soon as you are old enough.

- Collect all the arguments to explain your attitude to your family.
- Listen to what the members of your family are saying.
- Don't interrupt them.
- Don't forget that both parents and children are to blame in conflict situations.
- Be polite and friendly

Role card 2

Mother

Your daughter has written a letter of complaint to the youth magazine. She is not satisfied with your attitude to her. You have read this letter. You are worried about the situation in the family and have decided to discuss the problems with a family therapist.

- Say why you have invited the therapist
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha

- Follow the therapist’s advice
- Be polite and friendly

Role card 3

Father

Your daughter is complaining that you treat her like a baby. You don’t let her out at night during the week. You always ask her about the boys. You don’t believe her when she says she doesn’t have any homework to do. Your wife has invited a family therapist to discuss the problems of your family.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha’s attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don’t criticize Sasha
- Follow the therapist’s advice
- Be polite and friendly

Role card 4

Sister

Sasha is complaining that you don’t help her with the work about the house. She also says that she can’t keep anything secret in her room, you go through all her stuff. She is irritated by your behaviour. She is going to leave your home as soon as she is old enough.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha’s attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don’t criticize Sasha
- Follow the therapist’s advice
- Be polite and friendly

Role card 5

Family therapist

- Encourage all the members of the family to speak
- Take notes
- Ask questions
- Summarize what you have heard from all the members of the family
- Try to analyse the situation in a short report

2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию

Подготовьте устные высказывания по темам:

1. From the history of the Ural State Mining University.
2. Faculties and specialities of the University.
3. The layout of the Ural State Mining University.
4. Student's academic work.

Подготовьте письменные ответы на вопросы:

1. Where do you study?
2. What faculty do you study at?
3. How many faculties are there at the Ural State Mining University?
4. What year are you in?
5. What is your future speciality?
6. What specialities are there at your faculty?
7. When did you enter the University?

8. When was the Sverdlovsk Mining Institute founded?
9. When was it reorganized into the University?
10. In how many buildings is the Ural State Mining University housed?
11. In what building is your faculty housed?
12. Who is the dean of your faculty?
13. What books do you take from the library?
14. Where do you live?
15. Where do you usually have your meals?
16. How long does the course of studies for a bachelor's degree last?
17. How long do the students study for a Diplomate Engineer's course and a Magister's degree?
18. What subjects do you study this term?
19. What lectures and practical classes do you like to attend?
20. Where do the students have their practical work?
21. When do the students present their graduation papers for approval?
22. What graduates can enter the post-graduate courses?
23. What kind of sport do yon like?
24. Where do you go in for sports?

2.1.3 Подготовка к опросу

Ответьте на вопросы на иностранном языке:

1. What specialities does the geological faculty train geologic engineers in?
2. What problems does Geology study?
3. What branches is Geology divided into?
4. What does Economic Geology deal with?
5. What does mineralogy investigate?
6. What does paleontology deal with?
7. What is the practical importance of Geology?
8. Where do graduates of the geological faculty of the Mining University work?
9. What is your future speciality?
10. What kind of work do geologists-prospectors conduct?
11. What do geologists explore during the early stages of geological exploration?
12. What work do geologists conduct while working in. the field?
13. When do geologists start exploratory work?
14. What is the purpose of the exploratory work?
15. How is exploratory work conducted?
16. What contribution do geologists make to the development of the National Economy of our country?
17. What does hydrogeology deal with?
18. Where are ground waters used?
19. Where is thermal (hot) water used?
20. What must hydrogeologists do with ground waters which complicate construction work or mineral extraction?

2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного (по 2 текста на тему)

Text 1: A.M. Terpigorev (1873-1959)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

to defend graduation paper (thesis) - защищать дипломную работу (диссертацию)

to pass an entrance examination - сдать вступительный экзамен

to get a higher education - получить высшее образование

to do one's best (one's utmost, all one can, everything in one's power) - сделать все возможное, не жалеть сил

to make contribution (to) - вносить вклад в *(науку, технику* и т.д.)

choose (chose, **chosen**) - v выбирать; **choice -** *n* выбор

collect - v собирать, коллекционировать

dangerous - *a* опасный

deposit - *n* месторождение, залежь; **bedded deposits -** пластовые месторождения

describe - v описывать, изображать; **description** - *n* описание; **descriptive** - *a* описательный

facility - *n (pl* **facilities)** средства; возможности; оборудование; устройства

fire damp - *n* рудничный газ, метан

harm - *n* вред; *v* вредить; **harmful -** *a* вредный

relate - v относиться, иметь отношение

safety - *n* безопасность; **mine safety** безопасность труда при горных работах; техника безопасности; **safety measures** меры безопасности; **safe -** *a* безопасный; надежный

seam - *n* пласт *(угля); syn* **bed, layer; flat seam** горизонтальный, пологопадающий пласт; **inclined seam** наклонный пласт; **steep seam** крутопадающий пласт; **thick seam** мощный пласт; **thin seam** тонкий пласт

state - *n* состояние; государство; штат; *a* государственный; v заявлять; констатировать; излагать

success - *v* успех; удача; **be a success** иметь успех; **successful** *a* успешный

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Academician A.M. Terpigorev is a well-known mining engineer who successfully combined his practical experience with scientific research. He was bom in 1873 in Tambov. In 1892 he finished school with honours1 and decided to get a higher education. He chose the Mining Institute in St. Petersburg, passed all the entrance examinations successfully and became a student of the Mining Institute.

At the Institute he studied the full range of subjects2 relating to metallurgy, mining and mining mechanics.

At that time students' specialization was based on descriptive courses and elementary practical training. One of the best lecturers was A. P. Karpinsky. His lectures on historical geology were very popular.

During his practical training Terpigorev visited mines and saw that the miners' work was very difficult. While he was working in the Donbas he collected material for his graduation paper which he soon defended. The Mining of flat seams in the Donbas was carefully studied and described in it.

In 1897 Terpigorev graduated from the Institute with a first-class diploma of a mining engineer.

His first job as a mining engineer was at the Sulin mines where he worked for more than three years first as Assistant Manager and later as Manager.

From 1900 till 1922 Terpigorev worked at the Yekaterinoslav Mining Institute (now the Mining Institute in Dnepropetrovsk).

In 1922 he accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Academy and moved to Moscow. From 1930 he headed the chairs5 of Mining Transport and Mining of Bedded Deposits at the Moscow Mining Institute.

Academician Terpigorev took a particular interest in mine safety. As a result of his investigations a series of safety measures in gassy collieries was worked out. For some time he was working on the problem of fire damp, the most harmful and dangerous of all the gases in mines.

His two-volume work Coal Mining and Mine Transport Facilities is a full description of the state of mechanization and the economy of the Donbas. His other works are about mining transport facilities, mechanization of coal mining and mining machinery. He is one of the pioneers in scientific methods of coal gasification.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. After school Terpigorev decided to work in a mine.
2. Terpigorev collected material for his graduation paper which dealt with mining thick seams in the Donbas.
3. For more than three years Terpigorev worked at the Sulin mines.
4. In 1922 Terpigorev accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Institute.
5. He investigated the problems of mine safety.
6. He was one of the first to work on the problem of gasification of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. When and where was Terpigorev born?
2. What institute did he graduate from?
3. What material did he collect while he was working in the Donbas?
4. Where did Terpigorev work from 1900 till 1922?
5. At what institute did Terpigorev head the chair of Mining Bedded Deposits?
6. What did Terpigorev take a particular interest in?
7. What works by Terpigorev do you know?
8. What problems do Terpigorev's works deal with?
9. What was the result of his investigations on mine safety?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) охрана труда в шахтах
б) подтверждать
в) добыча угля
г) эксплуатация месторождений
д) метан
е) принять предложение
ж) выполнить задачу, задание
з) горизонтальный пласт
и) собирать материал

1. поступить в институт
2. решать важные проблемы
3. выдающиеся исследователи
4. успешно провести эксперименты
5. выбрать профессию
6. описательный курс
7. происхождение железной руды
8. начальник шахты
9. мероприятия по охране труда

Text 2: A.P. Karpinsky (1847-1936)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abroad - *adv* за рубежом
confirm - v подтверждать; утверждать
consider - v считать, полагать, рассматривать
contribute - v вносить вклад; **contribution** вклад
crust - *n* земная кора
detailed - a подробный, детальный
elect - v избирать, выбирать *(голосованием);* назначать *(на должность)*
embrace - v охватывать; обнимать
entire - *a* весь, целый; полный; *syn* **whole**
exist – *v* существовать, быть, жить
foreign - *a* иностранный
former - *a* прежний

investigate - v исследовать; изучать

prominent - *a* знаменитый, выдающийся, известный; *syn* **remarkable, outstanding**

regularity - *n* закономерность

significant - *a* значительный; **significance -** *n* значение, важность; **exhaust the significance** исчерпывать значение

society – *n* общество

staff - *n* персонал; личный состав; штат

various - *a* различный, разный, разнообразный

to advance the view - высказывать мнение *(точку зрения)*

to be interested in - быть заинтересованным *(чём-л.),* интересоваться

to take (an) interest in - заинтересоваться *(чём-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

V.A. Obruchev, I.M. Gubkin, A.Y. Fersman, V.I. Vernadsky and A. P. Karpinsky were the prominent Russian scientists who laid the foundation1 of the Russian school of geology and mining.

An entire epoch in the history of Russian geology is connected with Karpinsky's name. One of the greatest Russian geologists, he was a member and for some time President of the Academy of Sciences of the former USSR and a member of several Academies abroad. The Geological Society of London elected him a foreign member in 1901. His greatest contribution to geology was a new detailed geological map of the European part of Russia and the Urals.

For many years he headed the Russian Geological Committee the staff of which was made up of his pupils. He was one of those geologists who embraced the whole of geological science. He created the new stratigraphy of Russia. He studied the geological systems in various regions of the country and was the first to establish3 the regularity of the Earth's crust movement. His paleontological studies are of no less importance, especially those on palaeozoic ammonoids. He also took an interest in deposits of useful minerals and gave a classification of volcanic rocks. He advanced the view that petroleum deposits existed in Russian, which was confirmed later. He studied some ore and platinum deposits and may be justly considered5 the founder of practical geology of the Urals. He was the first Russian scientist who introduced microscope in the study of petrographic slides.

Karpinsky was a prominent scientist, an excellent man and citizen. He was one of the best lecturers at the Mining Institute in his time. He was also one of the greatest Russian scientists who later became the first elected President of the Academy of Sciences of the USSR. Students were attracted to him not only because he was a great scientist but also because of his charming personality and gentle manner.

Every geologist and every geology student knows very well Karpinsky's most significant work An Outline of the Physical and Geographical Conditions in European Russia in Past Geological Periods.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Karpinsky was the first President of the Academy of Sciences.
2. He worked at the Mining Institute in St.Petersburg.
3. Karpinsky was a member of many Academies abroad.
4. Karpinsky made up a detailed map of the Asian part of our country.
5. He headed the Russian Geological Committee.
6. Karpinsky created a new branch of geology, namely stratigraphy.
7. He only tried to establish the regularity of the Earth's crust movement.
8. Karpinsky may be justly considered the founder of the practical geology of the Urals.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What society elected Karpinsky a foreign member and when?
2. Did he head the Russian Geological Committee or was he a member of that Committee?

3. Did Karpinsky investigate various regions of the Russian territory?
4. Which of his works are the most remarkable?
5. What can you say about Karpinsky's investigations in petrology?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) земная кора
б) составить подробную карту
в) замечательные работы
г) выдающийся ученый
д) залежи полезных ископаемых
е) научное общество
ж) избирать председателя (президента)
з) заложить основы школы
и) интересоваться геологией
к) высказать точку зрения
л) возглавлять комитет

Text 3: Sedimentary Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**
clay - *n* глина; глинозем
consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**
crust - *n* кора; *геол.* земная кора
decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение
derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать
destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный
dissolve v растворять
expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение
external - *a* внешний
extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*
force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие
glacier - *n* ледник, глетчер
grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый
gravel - *n* гравий, крупный песок
internal - *a* внутренний
intrusive - *a* интрузивный, плутонический
iron - *n* железо
layer - *n* пласт
like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно
lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк
loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый
make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*
particle - *n* частица; включение
peat - *n* торф; торфяник
represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный
rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода
sand - *n* песок
sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник
sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый
shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец
siltstone - *n* алеврит
stratification - *n* напластование, залегание
stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**
substance - *n* вещество, материал; сущность
thickness - *n* толщина, мощность
value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*
vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The rocks of the Earth's crust are divided into three main groups: sedimentary rocks, which consist of fragments or particles of pre-existing rocks; igneous rocks which have solidified from magma and metamorphic rocks. Metamorphic rocks have been derived from either igneous or sedimentary rocks.

Sedimentary rocks represent one of the three major groups of rocks that make up the crust of the Earth. Most sedimentary rocks have originated by sedimentation. They are layered or stratified. Thus, stratification is the most important characteristic of sediments and sedimentary rocks. It is necessary to note that the processes which lead to the formation of sedimentary rocks are going on around us.

Sediments are formed at or very near the surface of the Earth by the action of heat, water (rivers, glaciers, seas and lakes) and organisms.

It should be noted that 95 per cent of the Earth's crust is made up of igneous rocks and that only 5 per cent is sedimentary. In contrast, the amount of sedimentary rocks on the Earth's surface is three times that of igneous rocks.

Strictly speaking, sedimentary rocks form a very small proportion by volume of the rocks of the Earth's crust. On the contrary, about three quarters of the Earth's surface is occupied by sedimentary rocks. It means that most of sedimentary rocks are formed by sediments, accumulations of solid material on the Earth's surface.

The thickness of the layers of sedimentary rocks can vary greatly from place to place. They can be formed by the mechanical action of water, wind, frost and organic decay. Such sediments as gravel, sand and clay can be transformed into conglomerates, sandstones and clay schists as a result of the accumulation of materials achieved by the destructive mechanical action of water and wind.

Mechanical sediments can be unconsolidated and consolidated. For example, gravel, sand and clay form the group of unconsolidated mechanical sediments, because they consist of loose uncemented particles (grains).

On the Earth's surface we also find consolidated rocks, which are very similar to the loose sediments whose particles are firmly cemented to one another by some substance. The usual cementing substances are sand, clay, calcium carbonate and others. Thus sandstones are consolidated rocks composed of round or angular sand grains, more or less firmly consolidated. Like sand, sandstones can be divided into fine-grained, medium-grained and coarse-grained.

On the other hand, chemical sediments are the result of deposits or accumulations of substances achieved by the destructive chemical action of water. The minerals such as rock salt, gypsum and others are formed through sedimentation of mineral substances that are dissolved in water.

Sediments can also be formed by the decay of the remains of organisms, by the accumulation of plant relics.1 They are called organic sediments. Limestones, peat, coal, mineral oil and other sediments may serve as an example of organic sediments.

The most principal kinds of sedimentary rocks are conglomerate, sandstone, siltstone, shale, limestone and dolomite. Many other kinds with large practical value include common salt, gypsum, phosphate, iron oxide and coal.

As is known, water, wind and organisms are called external forces, because their action depends on the energy which our planet receives from the Sun.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The rocks of the Earth's crust are divided into two main groups.
2. Igneous rocks are composed of particles of pre-existing rocks.
3. Sedimentary rocks are stratified.
4. Sediments are formed by the action of glaciers.
5. Igneous rocks make up 75 per cent of exposed rocks.
6. Conglomerates are formed as a result of the accumulation of materials caused by the destructive mechanical action of water.
7. Sandstones are consolidated rocks.
8. Clays are unconsolidated mechanical sediments.
9. Chemical sediments are formed by the destructive chemical action of water.
10. Peat and coal are the organic sediments which are of great practical value.
11. Clay schist was formed at the beginning of the sedimentation period and clay was formed later.

2). Ответьте на вопросы:

1. What main groups of rocks do you know?
2. Do sedimentary rocks consist of particles of pre-existing rocks?
3. How were igneous rocks formed?
4. Do you know how sedimentary rocks have originated?
5. What is the most important characteristic feature of sediments?
6. Do sedimentary rocks account for 10 per cent of the Earth's crust?
7. Is gravel consolidated mechanical sediment? And what about sand and clay?
8. What are cementing substances? Can calcium carbonate be used as a cementing substance?
9. Are there only fine-grained sandstones?
10. What can you say about chemical sediments?
11. Can you give an example of organic sediments? How are they formed?

3) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	земная кора	а) sandstone
2.	растворяться в воде	б) fine-grained sand
3.	песчаник	в) the Earth's crust
4.	уплотненные осадки	г) exposed rocks
5.	изверженные породы	д) to dissolve in water
6.	мелкозернистый песок	е) like gypsum
7.	затвердевать	ж) consolidated sediments
8.	подобно гипсу	з) igneous rocks
9.	обнаженные породы	и) to solidify, to consolidate

б) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов.

1.	coarse-grained sand	а) разрушительная сила воды
2.	siltstone and shale	б) пластовые месторождения
3.	the destructive action of water	в) доледниковый период

4.	existing rocks	г) крупнозернистый (грубо- зернистый) песок
5.	chemical decay	д) частицы вещества
6.	sedimentary rocks	е) алеврит и сланец
7.	stratified deposits	ж) существующие породы
8.	pre-glacial period	з) осадочные породы
9.	particles of a substance	и) химический распад

Text 4: Weathering of Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

contain - v содержать *(в себе),* вмещать
crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться
contract - v сжиматься; сокращаться
dust - *n* пыль
expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**
fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель
fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*
freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать
gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно
hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом
hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф
influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*
lateral - *a* боковой
occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания
penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*
phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**
pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы
rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**
refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*
resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся
size - *n* размер; величина; класс *(угля)*
solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий
succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно
undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*
uniform – *a* однородный; одинаковый
weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*
to be subjected to подвергаться

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

All rocks which are exposed on the Earth's surface (high mountain peaks, deserts) are decomposed to a certain degree. The process of rock disintegration by the direct influence of local atmospheric conditions on the Earth's surface is called weathering. This phenomenon is often referred to in geology because weathering is an active process. It takes place in the upper layers of the Earth's crust.

The main cause of physical weathering is the change in temperature that takes place with the succession of day and night. This phenomenon can best be observed in the deserts and high mountains where the changes in temperature are common.

During the day under the influence of heat, rocks expand whereas at night they begin to contract. As rocks are generally composed of different minerals, their expansion and contraction do not occur uniformly. As a result of this rocks crack. At the beginning these cracks or fissures are hardly noticeable but gradually they become wider and deeper until the whole surface of rock is finally transformed into gravel, sand or dust.

In the regions of a moderate or cold climate, where the temperature in winter goes down to below 0 (zero), the decomposition of rocks is greatly facilitated by the action of water. When water freezes it increases in volume and develops enormous lateral pressure. Under the action of water, rocks decompose to pieces of varied forms and sizes.

The decomposition of rocks under the direct influence of heat and cold is called physical weathering.

Rocks are subjected not only to physical decomposition but also to chemical weathering, i.e. to the action of chemical agents, such as water, carbon dioxide and oxygen. In a general way, chemical weathering is an acid attack on the rocks of the Earth's crust, in particular an attack on the most abundant minerals — quartz (sand) and aluminosilicates (clays). Only few minerals and rocks are resistant to the action of natural waters. The solvent action of water is stronger when it contains carbon dioxide. Water causes more complex and varied changes. With the participation of oxygen and carbon dioxide up to 90 per cent of rocks is transformed into soluble minerals, which are carried away by the waters.

Organisms and plants also take part in the disintegration of rocks. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks by making holes in them to live in. The action of plants can often be even more destructive. Their roots penetrate into the fissures of rocks and develop the lateral pressure which fractures and destroys rocks.

1. Укажите, какие предложены соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The process of sedimentation is called weathering.
2. The change in temperature causes physical weathering.
3. As a rule during the night rocks expand.
4. When freezing water decreases in volume and develops enormous lateral pressure.
5. The decomposition of rocks is due to the influence of heat and cold.
6. As a rule water contains dissolved mineral substances.
7. The solvent action of water is stronger when it does not contain carbon dioxide.
8. It should be noticed that the action of organisms and plants is destructive.
9. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What process is called weathering?
2. What process is called physical weathering?
3. Where can the phenomenon of physical weathering be best observed?
4. What process is called chemical weathering?
5. What substances can act as solvents?
6. Are all minerals and rocks resistant to the action of natural waters or only few minerals and rocks can resist the action of water?
7. How do organisms act on the destruction of rocks?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. the Earth's surface
2. to be composed of different minerals
3. the expansion of rocks
4. changes in temperature

5. under the influence of heat
6. weathering
7. destructive forces
8. a great number of fractures
9. to penetrate into fissures

а) под влиянием тепла
б) разрушительные силы
в) выветривание
г) большое количество трещин
д) состоять из различных минералов
е) расширение пород
ж) проникать в трещины
з) изменения температуры
и) поверхность земли

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. увеличиваться в объеме
2. развивать боковое давление
3. способствовать разрушению пород
4. подвергаться гниению
5. растворять вещества
6. сопротивляться (чему-л.)
7. некоторые органические вещества
8. ускорять процесс выветривания
9. куски породы различных размеров

а) to facilitate the decomposition of rocks
б) to increase in volume
в) to resist (smth)
г) rock pieces of varied (different) sizes
д) to accelerate the process of weathering
е) to be subjected to decay
ж) to dissolve substances
з) to develop lateral pressure
и) certain organic substances

Text 5: Fossil Fuels

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**
mudstone - *n* аргиллит
purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**
shale - *n* глинистый сланец
the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The chief sources of energy available to man today are oil, natural gas, coal, water power and atomic energy. Coal, gas and oil represent energy that has been concentrated by the decay of organic materials (plants and animals) accumulated in the geologic past. These fuels-are often referred to as fossil fuels.

The word fossil (derived from the Latin fodere "to dig up") originally referred to anything that was dug from the ground, particularly a mineral. Today the term fossil generally means any direct evidence of past life, for example, the footprints of ancient animals. Fossils are usually found in sedimentary rocks, although sometimes they may be found in igneous and metamorphic rocks as well. They are most abundant in mudstone, shale and limestone, but fossils are also found in sandstone, dolomite and conglomerate.

Most fuels are carbon-containing substances that are burned in air. In burning fuels give off heat which is used for different purposes.

Fuels may be solid, liquid and gaseous. Solid fuels may be divided into two main groups, natural and manufactured. The former category includes coal, wood, peat and other plant products. The latter category includes coke and charcoal obtained by heating coal in the absence of air.

Liquid fuels are derived almost from petroleum. In general, natural petroleum, or crude oil, as it is widely known, is the basis of practically all industrial fuels. Petroleum is a mixture of hundreds of different hydrocarbons — compounds composed of hydrogen and carbon — together with the small amount of other elements such as sulphur, oxygen and nitrogen. Petroleum is usually associated with water and natural gas. It is found in porous sedimentary rocks where the geological formation allowed the oil to collect from a wide area. Petroleum is one of the most efficient fuels and raw materials.

Of gaseous fuels the most important are those derived from natural gas, chiefly methane or petroleum. Using gaseous fuels makes it possible to obtain high thermal efficiency, ease of distribution and control. Gas is the most economical and convenient type of fuels. Today gas is widely utilized in the home and as a raw material for producing synthetics.

Scientists consider that a most promising source of natural resources may be the floor of the sea, a subject which now has become an important field of research.

Generally speaking, all types of fossil fuels described in the text are of great economic importance as they represent the sources of energy the man uses today.

1. Укажете, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Coal, water power and atomic energy are the only sources of energy available to man today.
2. Coal, wood and peat represent natural group of solid fuels.
3. As a rule fossil fuels are found in sedimentary rocks.
4. Crude oil is widely used for producing solid fuels.
5. Petroleum can be found in porous sedimentary rocks.
6. Gas is used to produce synthetic materials.
7. Not all types of fossil fuels burn.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What fuels are often referred to as fossil fuels?
2. What does the word fossil mean?
3. What rocks are most abundant hi fossil fuels?

4. What types of fossil fuels do you know?
5. Is coke a natural or manufactured solid fuel? And what can you say about coal and peat?
6. How are coke and charcoal produced?
7. What rocks is petroleum usually associated with?
8. What are the advantages of gaseous fuels?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов сочетаний слов.

1.	fossil fuel	а) дерево и торф
2.	raw material	б) небольшое количество аргиллита
3.	crude oil	в) органическое топливо
4.	the chief sources of energy	г) сланец и известняк
5.	to refer to	д) сырье
6.	any direct or indirect evidence of the deposit	е) материалы, содержащие углерод
7.	shale and limestone	ж) главные источники энергии
8.	carbon-containing materials	з) любые прямые или косвенные признаки месторождения
9.	wood and peat	и) сырая (неочищенная) нефть
10.	the small amount of mudstone	к) относиться к (чему-л.); ссылаться на (что-л.)

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	древесный уголь и кокс	а) to collect data
2.	жидкое топливо	б) charcoal and coke
3.	накапливать	в) to be composed of limestones
4.	собирать данные	г) liquid fuel
5.	происходить от	д) to accumulate
6.	получать хорошие результаты	е) to derive from
7.	богатый горючими сланцами	ж) to obtain good results
8.	состоять из известняков	з) abundant in oil shales

Text 6: Coal and Its Classification

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*
blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)
combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание
continuity - *n* непрерывность, неразрывность
domestic - *a* внутренний; отечественный
estimate - v оценивать; *n* оценка; смета
fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов
fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва
inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя
intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный
liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*
luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий
matter - *n* вещество; материя
moisture - *n* влажность, сырость; влага
parting - *n* прослоек
plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования
rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля
regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**
smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*
store - v запасать, хранить на складе; вмещать
strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**
thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*
uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие
utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**
volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Coal is the product of vegetable matter that has been formed by the action of decay, weathering, the effects of pressure, temperature and time millions of years ago.

Although coal is not a true mineral, its formation processes are similar to those of sedimentary rocks.

Structurally coal beds are geological strata characterized by the same irregularities in thickness, uniformity and continuity as other strata of sedimentary origin. Coal beds may consist of essentially uniform continuous strata or like other sedimentary deposits may be made up of different bands or benches of varying thickness.

You can see a seam limited by two more or less parallel planes, a shape which is typical of sedimentary rocks. The benches may be separated by thin layers, of clay, shale, pyrite or other mineral matter, commonly called partings. Like other sedimentary rocks coal beds may be structurally disturbed by folding and faulting.

According to the amount of carbon coals are classified into: brown coals, bituminous coals and anthracite. Brown coals are in their turn subdivided into lignite and common brown coal. Although carbon is the most important element in coal, as many as 72 elements have been found in some coal deposits, including lithium, chromium, cobalt, copper, nickel, tungsten and others.

Lignite is intermediate in properties between peat and bituminous coal, containing when dry about 60 to 75 per cent of carbon and a variable proportion of ash. Lignite is a low-rank brown-to-black coal containing 30 to 40 per cent of moisture. Developing heat it gives from 2,500 to 4,500 calories. It is easily inflammable but burns with a smoky flame. Lignite is liable to spontaneous combustion. It has been estimated that about 50 per cent of the world's total coal reserves are lignitic.

Brown coal is harder than lignite, containing from 60 to 65 per cent of carbon and developing greater heat than lignite (4,000-7,000 calories). It is very combustible and gives a brown powder. Bituminous coal is the most abundant variety, varying from medium to high rank. It is a soft, black, usually banded coal. It gives a black powder and contains 75 to 90 per cent of carbon. It weathers only slightly and may be kept in open piles with little danger of spontaneous combustion if properly stored. Medium-to-low volatile bituminous coals may be of coking quality. Coal is used intensively in blast furnaces for smelting iron ore. There are non-coking varieties of coal.

As for the thickness, the beds of this kind of coal are not very thick (1-1.5 meters). The great quantities of bituminous coal are found in the Russian Federation.

Anthracite or "hard" coal has a brilliant lustre containing more than 90 per cent of carbon and low percentage of volatile matter. It is used primarily as a domestic fuel, although it can sometimes be blended with bituminous grades of coal to produce a mixture with improved coking qualities. The largest beds of anthracite are found in Russia, the USA and Great Britain.

Coal is still of great importance for the development of modern industry. It may be used for domestic and industrial purposes. Being the main source of coke, coal is widely used in the iron and steel industry. Lignite, for example either in the raw state or in briquetted form, is a source of industrial carbon and industrial gases.

There is a strong tendency now for increased research into new technologies to utilize coal. No doubt, coal will be used as a raw material for the chemical industry and petrochemical processes. All

these processes involve coal conversion which include gasification designed to produce synthetic gas from coal as the basis for hydrogen manufacture, liquefaction (разжижение) for making liquid fuel from coal and other processes.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Anthracite coals may be divided into lignite and common brown coal.
2. Coals are ranked according to the percentage of carbon they contain.
3. Peat, with the least amount of carbon is the lowest rank, then comes lignite or brown coal.
4. Brown coal is hard and it is not liable to spontaneous combustion.
5. Bituminous coal weathers rapidly and one cannot keep it in open piles.
6. Being intensively used in the iron and steel industry bituminous coal varies from medium to high rank.
7. Anthracite or hard coal, the highest in percentage of carbon, can be blended with bituminous grades of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is the classification of coal based on?
2. Is carbon the only element in coal? (Prove it.)
3. Is lignite intermediate in properties between peat and bituminous coal?
4. What heat value does lignite develop when burnt?
5. What coals are liable to spontaneous combustion?
6. What is the difference between lignite and brown coal?
7. Is bituminous coal high- or low-volatile?
8. Does anthracite contain 90 per cent of carbon?
9. Where are the largest deposits of anthracite found? And what can you say about bituminous coal?
10. What do you know about the utilization of coal?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	spontaneous combustion	а) легковоспламеняющийся газ
2.	moisture and ash content	б) высокосортный уголь
3.	the most abundant variety	в) плавить железную руду
4.	in its turn	г) самовозгорание
5.	the amount of volatile matter	д) содержание влаги и золы
6.	easily inflammable gas	е) дымное пламя
7.	brilliant lustre	ж) наиболее широко распространенные угли
8.	to smelt iron ore	з) яркий блеск
9.	high-rank coal	и) в свою очередь
10.	a smoky flame	к) количество летучих веществ

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов н сочетаний слов:

1.	тип угля	а) heat value
2.	некоксующийся уголь	б) amount of carbon
3.	доменная печь	в) coal rank
4.	содержание углерода	г) to store coal
5.	смешиваться с другими углями	д) to weather rapidly
6.	улучшенного качества	е) non-coking coal
7.	складировать уголь	ж) blast furnace
8.	теплотворная способность	з) of improved quality
9.	быстро выветриваться	и) to blend with other coals

Text 7: General Information on Mining

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

As has been said, mining refers to actual ore extraction. Broadly speaking, mining is the industrial process of removing a mineral-bearing substance from the place of its natural occurrence in the Earth's crust. The term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells; metal, non-metallic minerals, coal, peat, oil shale and other hydrocarbons from the earth. In other words, the work done to extract mineral, or to prepare for its extraction is called mining.

The tendency in mining has been towards the increased use of mining machinery so that modern mines are characterized by tremendous capacities. This has contributed to: 1) improving working conditions and raising labour productivity; 2) the exploitation of lower-grade metal-bearing substances and 3) the building of mines of great dimensions.

Mining can be done either as a surface operation (quarries, opencasts or open pits) or by an underground method. The mode of occurrence of the sought-for metallic substance governs to a large degree the type of mining that is practised. The problem of depth also affects the mining method. If the rock containing the metallic substance is at a shallow site and is massive, it may be economically excavated by a pit or quarry-like opening on the surface. If the metal-bearing mass is tabular, as a bed or vein, and goes to a great distance beneath the surface, then it will be worked by some method of underground mining.

Working or exploiting the deposit means the extraction of mineral. With this point in view a number of underground workings is driven in barren (waste) rock and in mineral. Mine workings vary in shape, dimensions, location and function.

Depending on their function mine workings are described as exploratory, if they are driven with a view to finding or proving mineral, and as productive if they are used for the immediate extraction of useful mineral. Productive mining can be divided into capital investment work, development work, and face or production work. Investment work aims at ensuring access to the deposit from the surface. Development work prepares for the face work, and mineral is extracted (or produced) in bulk.

The rock surfaces at the sides of workings are called the sides, or hi coal, the ribs. The surface above the workings is the roof in coal mining while in metal mining it is called the back. The surface below is called the floor.

The factors such as function, direct access to the surface, driving in mineral or in barren rock can be used for classifying mine workings:

I. Underground workings:

a) Long or deep by comparison with their cross-section may be: 1) vertical (shaft, blind pit); 2) sloping (slopes, sloping drifts, inclines); 3) horizontal (drifts, levels, drives, gate roads, adits, crosscuts).

b) Large openings having cross dimensions comparable with their length.

c) Production faces, whose dimensions depend on the thick ness of the deposit being worked, and on the method of mining it.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. As a rule, the term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells as well as coal, iron ores and other useful minerals from the earth.
2. The increased use of mining machinery has greatly contributed to raising labour productivity and improving working conditions.
3. It is quite obvious that the problem of depth is not always taken into consideration in choosing the mining method.
4. Productive workings are usually used for the immediate extraction of useful mineral.
5. Underground workings are driven in barren rock or in mineral.
6. A shaft is a vertical underground working which is long and deep in comparison with its cross-section.
7. The surface above the mine working is usually called the floor.
8. The rock surfaces at the sides of mine workings arc called the ribs.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is mining?
2. What has contributed to the better working conditions of the miners?
3. What factors influence the choice of the mining method?
4. In what case is useful mineral worked by open pits?
5. Are exploratory workings driven with a view to finding and proving mineral or are they driven for immediate extraction of mineral?
6. What is the difference between development and production work?
7. What main factors are used for classifying mine workings?
8. What do the dimensions of production faces depend on?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. direct access to the surface
2. open-cast mining
3. tabular (or bedded) deposits
4. oil well
5. underground workings
6. cross-section of a working
7. production face
8. the roof of the mine working
9. to drive mine workings in barren rock
10. to affect the mining method

а) нефтяная скважина
б) проходить горные выработки по пустой породе
в) влиять на метод разработки
г) прямой доступ к поверхности
д) пластовые месторождения
е) открытая разработка
ж) поперечное сечение выработки
з) подземные выработки
и) очистной забой
к) кровля горной выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов сочетаний слов:

1. способствовать чему-л.
2. размер ствола
3. извлекать, добывать (уголь)
4. штреки и квершлаги
5. пустая порода
6. вообще говоря
7. удалять, перемещать (крепь, вскрышу и др.)
8. с целью ...
9. подготовительные работы
10. мощность пласта

а) thickness of a seam
б) shaft dimension
в) with a view to
г) to contribute to smth.
д) development work
е) to remove (timber, overburden, etc.)
ж) drifts (gate roads) and crosscuts
з) generally speaking

и) to recover (coal)
к) waste (barren) rock

Text 8: Methods of Working Bedded Deposits Underground

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The method of working (or method of mining) includes a definite sequence and organization of development work of a deposit, its openings and its face work in certain geological conditions. It depends on the mining plan and machines and develops with their improvements. A rational method of working should satisfy the following requirements in any particular conditions: 1) safety of the man; 2) maximum output of mineral; 3) minimum development work (per 1,000 tons output); 4) minimum production cost and 5) minimum losses of mineral.

Notwithstanding the considerable number of mining methods in existence, they can be reduced to the following main types: 1. Methods of working with long faces (continuous mining); 2. Methods of working with short faces (room-and-pillar). The characteristic feature of the continuous mining is the absence of any development openings made in advance of production faces. The main advantage of long continuous faces is that they yield more mineral. Besides, they allow the maximum use of combines (shearers), cutting machines, powered supports and conveyers. The longwall method permits an almost 100 per cent recovery of mineral instead of 50 to 80 per cent obtainable in room-and-pillar methods.

The basic principle of room-and-pillar method is that rooms from 4 to 12 meters wide (usually 6-7) are driven from the entries, each room is separated from each other by a rib pillar. Rib pillars are recovered or robbed after the rooms are excavated. The main disadvantage of shortwall work is a considerable loss of mineral and the difficulty of ventilation. In working bedded deposits methods of mining mentioned above may be used either with stowing or with caving.

In Russia, Germany (the Ruhr coal-field), France and Belgium nearly all the faces are now long ones. In Britain longwall faces predominate.

The USA, Canada, Australia and to some extent India are developing shortwall faces and creating the machines for them. In these countries shortwall faces are widely used.

In Russia the thick seams are taken out to full thickness up to 4.5 m thick if they are steep, and up to 3.5 m thick if they are gently sloping or inclined. In the Kuznetsk coal-field long faces are worked to the dip with ashield protection, using a method proposed by N.Chinakal. In shield mining coal is delivered to the lower working by gravity so that additional haulage is not required.

It should also be noted that in Russia hydraulic mining is widely used as it is one of the most economic and advantageous methods of coal getting. New hydraulic mines are coming into use in a number of coal-fields. Hydraulic mining is developing in other countries as well.

The aim of hydraulic mining is to remove coal by the monitors (or giants) which win coal and transport it hydraulically from the place of work right to the surface. It is quite obvious that the choice of the method of mining will primarily depend on the depth and the shape and the general type of the deposit.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. A definite sequence and organization of development work is called mining.
2. Mining methods in existence can be reduced to the two main types.
3. The depth and the shape of the deposit influence the choice of the method of working.
4. As is known, in Belgium all the faces are short now, in Great Britain they amount to 84 per cent.
5. In Australian collieries shortwall faces are widely used.
6. The room-and-pillar method is characterized by the absence of any development openings.
7. High-capacity monitors win coal and transport it hydraulically right to the surface.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What factors does mining depend on?
2. What is mining?
3. What are the most important factors which affect the choice of the method of working?
4. Do short faces or long faces predominate in Russia? What can you say about the Ruhr coal-field?
5. Is Canada developing shortwall faces or longwall faces?
6. What are the main disadvantages of shortwall faces?
7. What are the two main methods of working?
8. What is the main advantage of long continuous faces?
9. What methods of mining long faces do you know?
10. What method of mining is characterized by the absence of development openings?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	development face	а) сплошная система разработки
2.	great losses	б) выемка целиков
3.	shield method of mining	в) подготовительный забой
4.	continuous mining	г) большие потери
5.	longwall advancing to the dip	д) удовлетворять требованиям
6.	the room-and-pillar method of mining	е) зависеть от геологических условий
7.	to open up a deposit	ж) выемка лавами прямым ходом по падению

8. pillar mining з) щитовая система разработки
9. to satisfy the requirements и) вскрывать месторождение
10. to depend upon the geological conditions к) камерно-столбовая система разработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. включать (в себя) а) safety
2. выемка лавами обратным ходом б) annual output
3. достигать 50% в) to involve
4. превышать 60% г) to propose a new method of mining
5. безопасность д) long wall retreating
6. годовая добыча е) in connection with difficulties
7. основной недостаток системы разработки ж) to exceed 60 per cent
8. под-этаж з) notwithstanding (in spite of)
9. крутопадающий пласт и) to reach 50 per cent
10. щитовая система разработки к) the main disadvantage of the method of mining
11. предложить новый способ разработки л) sublevel
12. в связи с трудностями м) the shield method of mining
13. несмотря на н) open up a deposit
14. вскрывать месторождение о) steep seam

2.3 Подготовка доклада

Подготовьте доклад по одной из предложенных тем.

1. Inigo Jones (1573-1652)
2. Christopher Wren (1632-1723)
3. Geoffrey Chaucer (1340-1400)
4. Samuel Johnson (1709-1784)
5. Alfred Tennyson (1809-1892)
6. Thomas Hardy (1840-1928)
7. John Milton (1608-1674)
8. William Makepeace Thackeray (1811-1863)
9. Henry Wadsworth Longfellow (1807 – 1882)
10. Joshua Reynolds (1723-1792)
11. Thomas More (1478 – 1535)
12. J.M.W. Turner (1775-1851)
13. Thomas Gainsborough (1727 – 1788)
14. Henry Moor (1898-1986)
15. Henry Irving (1838-1905)
16. William Gilbert (1836-1911)
17. Arthur Sullivan (1842-1900)
18. James Watt (1736 - 1819)
19. Thomas Telford (1757 - 1834)
20. Isambard Kingdom Brunel (1806 – 1859)
21. George Stephenson (1781 – 1848)
22. David Livingstone (1813 – 1873)
23. Tony Blair (1953)
24. Winston Churchill (1874 - 1965)
25. Margaret Hilda Thatcher (1925)
26. Sir Isaac Newton (1642 – 1727
27. Alexander Graham Bell (1847 - 1922)

28. Robert Burns (1759 – 1796)

Правила предоставления информации в докладе

Размер	**А4**
Шрифт	Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman 12
Поля	слева – 2 см., сверху и справа – 1 см., снизу – 1
Абзацный отступ	1 см устанавливается автоматически
Стиль	Примеры выделяются курсивом
Интервал	межстрочный интервал – 1
Объем	1 -2 страницы (до 7 минут устного выступления)
Шапка доклада	***Иванова Мария Ивановна*** Екатеринбург, Россия ФГБОУ ВПО УГГУ, МД-13 НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА
	Список использованной литературы

Краткое содержание статьи должно быть представлено на 7-10 слайдах, выполненных в PowerPoint.

2.4 Подготовка к тесту

Тест направлен на проверку страноведческих знаний и знаний межкультурной коммуникации. Для этого студентам необходимо повторить материал, представленный в *Социально-культурной сфере общения* по теме «Страны изучаемого языка» (Я и мир). Для успешного написания теста изучите следующий материал:

THE GEOGRAPHICAL POSITION OF GREAT BRITAIN

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland covers an area of some 244 thousand square miles. It is situated on the British Isles. The British Isles are separated from Europe by the Strait of Dover and the English Channel. The British Isles are washed by the North Sea in the east and the Atlantic Ocean in the west.

England is in the southern and central part of Great Britain. Scotland is in the north of the island. Wales is in the west. Northern Ireland is situated in the north-eastern part of Ireland.

England is the richest, the most fertile and most populated part in the country. There are mountains in the north and in the west of England, but all the rest of the territory is a vast plain. In the northwestern part of England there are many beautiful lakes. This part of the country is called Lake District.

Scotland is a land of mountains. The Highlands of Scotland are among the oldest mountains in the world. The highest mountain of Great Britain is in Scotland too. The chain of mountains in Scotland is called the Grampians. Its highest peak is Ben Nevis. It is the highest peak not only in Scotland but in the whole Great Britain as well. In England there is the Pennine Chain. In Wales there are the Cumbrian Mountains.

There are no great forests on the British Isles today. Historically, the most famous forest is Sherwood Forest in the east of England, to the north of London. It was the home of Robin Hood, the famous hero of a number of legends.

The British Isles have many rivers but they are not very long. The longest of the English rivers is the Severn. It flows into the Irish Sea. The most important river of Scotland is the Clyde. Glasgow stands on it. Many of the English and Scottish rivers are joined by canals, so that it is possible to travel by water from one end of Great Britain to the other.

The Thames is over 200 miles long. It flows through the rich agricultural and industrial districts of the country. London, the capital of Great Britain, stands on it. The Thames has a wide mouth, that's

why the big ocean liners can go up to the London port. Geographical position of Great Britain is rather good as the country lies on the crossways of the see routes from Europe to other parts of the world. The sea connects Britain with most European countries such as Belgium, Holland, Denmark, Norway and some other countries. The main sea route from Europe to America also passes through the English Channel.

United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland occupies the territory of the British Isles. They lie to the north-west of Europe.

Once upon a time the British Isles were an integral part of the mainland. As a result of sinking of the land surface they became segregated. Great Britain is separated from the continent by the English Channel. The country is washed by the waters of the Atlantic Ocean. Great Britain is separated from Belgium and Holland by the North Sea, and from Ireland — by the Irish Sea.

There are several islands along the coasts. The total area of the British Isles is 325 000 km2. The main islands are Great Britain and Ireland.

The surface of the country is much varied. Great Britain is the country of valleys and plains.

The insular geographical position of Great Britain promoted the development of shipbuilding, different trading contacts with other countries. It has also allowed the country to stay independent for quite a long period of time.

THE BRITISH PARLIAMENT

The British Parliament is the oldest in the world. It originated in the 12th century as Witenagemot, the body of wise councillors whom the King needed to consult pursuing his policy. The British Parliament consists of the House of Lords and the House of Commons and the Queen as its head.

The House of Commons plays the major role in law-making. It consists of Members of Parliament (called MPs for short). Each of them represents an area in England, Scotland, Wales and Ireland.

MPs are elected either at a general election or at a by-election following the death or retirement. Parliamentary elections are held every 5 years and it is the Prime Minister who decides on the exact day of the election. The minimum voting age is 18. And the voting is taken by secret ballot.

The election campaign lasts about 3 weeks, The British parliamentary system depends on political parties.

The party which wins the majority of seats forms the government and its leader usually becomes Prime Minister. The Prime Minister chooses about 20 MPs from his party to become the cabinet of ministers. Each minister is responsible for a particular area in the government. The second largest party becomes the official opposition with its own leader and «shadow cabinet». The leader of the opposition is a recognized post in the House of Commons.

The parliament and the monarch have different roles in the government and they only meet together on symbolic occasions, such as coronation of a new monarch or the opening of the parliament. In reality, the House of Commons is the one of three which has true power.

The House of Commons is made up of six hundred and fifty elected members, it is presided over by the speaker, a member acceptable to the whole house. MPs sit on two sides of the hall, one side for the governing party and the other for the opposition. The first 2 rows of seats are occupied by the leading members of both parties (called «front benches»). The back benches belong to the rank-and-life MPs.

Each session of the House of Commons lasts for 160-175 days. Parliament has intervals during his work. MPs are paid for their parliamentary work and have to attend the sittings.

As mention above, the House of Commons plays the major role in law making. The procedure is the following: a proposed law («a bill») has to go through three stages in order to become an act of Parliament; these are called «readings».

The first reading is a formality and is simply the publication of the proposal. The second reading involves debate on the principles of the bill; it is examination by parliamentary committee.

And the third reading is a report stage, when the work of the committee is reported on to the house. This is usually the most important stage in the process.

When the bill passes through the House of Commons, it is sent to the House of Lords for discussion, when the Lords agree it, the bill is taken to the Queen for royal assent, when the Queen sings the bill, it becomes act of the Parliament and the Law of the Land.

The House of Lords has more than 1000 members, although only about 250 take an active part in the work in the house. Members of this Upper House are not elected; they sit there because of their rank. The chairman of the House of Lords is the Lord Chancellor. And he sits on a special seat, called «Woolsack».

The members of the House of Lords debate the bill after it has been passed by the House of Commons. Some changes may be recommended and the agreement between the two houses is reached by negotiations.

BRITISH TRADITIONS AND CUSTOMS

British nation is considered to be the most conservative in Europe. It is not a secret that every nation and every country has its own customs and traditions. In Great Britain people attach greater importance to traditions and customs than in other European countries. Englishmen are proud of their traditions and carefully keep them up. The best examples are their queen, money system, their weights and measures.

There are many customs and some of them are very old. There is, for example, the Marble Championship, where the British Champion is crowned; he wins a silver cup known among folk dancers as Morris Dancing. Morris Dancing is an event where people, worn in beautiful clothes with ribbons and bells, dance with handkerchiefs or big sticks in their hands, while traditional music-sounds.

Another example is the Boat Race, which takes place on the river Thames, often on Easter Sunday. A boat with a team from Oxford University and one with a team from Cambridge University hold a race.

British people think that the Grand National horse race is the most exciting horse race in the world. It takes place near Liverpool every year. Sometimes it happens the same day as the Boat Race takes place, sometimes a week later. Amateur riders as well as professional jockeys can participate. It is a very famous event.

There are many celebrations in May, especially in the countryside.

Halloween is a day on which many children dress up in unusual costumes. In fact, this holiday has a Celtic origin. The day was originally called All Halloween's Eve, because it happens on October 31, the eve of all Saint's Day. The name was later shortened to Halloween. The Celts celebrated the coming of New Year on that day.

Another tradition is the holiday called Bonfire Night. On November 5, 1605, a man called Guy Fawkes planned to blow up the Houses of Parliament where the king James 1st was to open Parliament on that day. But Guy Fawkes was unable to realize his plan and was caught and later, hanged. The British still remember that Guy Fawkes' Night. It is another name for this holiday. This day one can see children with figures, made of sacks and straw and dressed in old clothes. On November 5th, children put their figures on the bonfire, burn them, and light their fireworks.

In the end of the year, there is the most famous New Year celebration. In London, many people go to Trafalgar Square on New Year's Eve. There is singing and dancing at 12 o'clock on December 31st.

A popular Scottish event is the Edinburgh Festival of music and drama, which takes place every year. A truly Welsh event is the Eisteddfod, a national festival of traditional poetry and music, with a competition for the best new poem in Welsh. If we look at English weights and measures, we can be convinced that the British are very conservative people. They do not use the internationally accepted measurements. They have conserved their old measures. There are nine essential measures. For general use, the smallest weight is one ounce, then 16 ounce is equal to a pound. Fourteen pounds is one stone.

The English always give people's weight in pounds and stones. Liquids they measure in pints, quarts and gallons. There are two pints in a quart and four quarts or eight pints are in one gallon. For length, they have inches: foot, yards and miles.

LONDON

As well as being the capital of England, London is the capital of the United Kingdom. London was founded by the Romans in 43 A.D. and was called Londinium. In 61 A.D. the town was burnt down and when it was rebuilt by the Romans it was surrounded by a wall. That area within the wall is now called the City of London. It is London's commercial and business centre. It contains the Bank of England, the Stock Exchange and the head offices of numerous companies and corporations. Here is situated the Tower of London.

The Tower was built by William the Conqueror who conquered England in 1066. He was crowned at Westminster Abbey. Now most of the Government buildings are located there.

During the Tudor period (16th century) London became an important economic and financial centre. The Londoners of the Elizabethan period built the first theatres. Nowadays the theatre land is stretched around Piccadilly Circus. Not far from it one can see the British Museum and the «Covent Garden» Opera House.

During the Victorian period (19th century) London was one of the most important centers of the Industrial Revolution and the centre of the British Empire. Today London is a great political centre, a great commercial centre, a paradise for theatre-goers and tourists, but it is also a very quiet place with its parks and its ancient buildings, museums and libraries.

LONDON

London is the capital of Great Britain, its political, economic and commercial center. It`s one of the largest cities in the world and the largest city in Europe. Its population is about 9 million. London is one of the oldest and most interesting cities in the world. Traditionally it`s divided into several parts: the City, Westminster, the West End and the East End.

They are very different from each other and seem to belong to different towns and epochs. The heart of London is the City, its financial and business center. Numerous banks, offices and firms are situated there, including the Bank of England, the Stock Exchange and the Old Bailey. Few people live here, but over a million people come to the City to work. There are some famous ancient buildings within the City. Perhaps the most striking of them in St. Paul`s Cathedral, the greatest of British churches. St. Paul`s Cathedral has always dominated the center of London. It stands on the site of former Saxon and Norman churches. They latter were destroyed in the Great Fire and the present building, completed in 1710, is the work of the eminent architect Sir Christopher Wren. It is an architectural masterpiece.

Londoners have a particular affection for St. Paul`s, which is the largest Protestant Church in England. Its high dome, containing the remarkable Whispering Gallery, is a prominent landmark towering above the multistoried buildings which line the river-bank.

The Tower of London was one of the first and most impressive castles built after the Norman invasion of England in 1066. Since the times of William I various kings have built and extended the Tower of London and used it for many purposes. The Tower has been used as a royal palace, an observatory, an arsenal, a state prison, and many famous and infamous people have been executed within its walls. It is now a museum. For many visitors the principal attraction is the Crown Jewels, the finest precious stones of the nation. A fine collection of armour is exhibited in the keep. The security of the Tower is ensured by a military garnison and by the Yeoman Warders or Beefeaters, who still wear their picturesque Tudor uniform.

Westminster is the historic, the governmental part of London. Westminster Abbey is a national shrine where the kings and queens are crowned and famous people are buried. Founded by Edward the Confessor in 1050, the Abbey was a monastery for along time. The present building dates largely from the times of Henry 3, who began to rebuild the church, a task which lasted nearly 300 years. The West towers were added in the eighteenth century. Since William I almost every English monarch has been

crowned in this great church, which contains the tombs and memorials of many of Britain`s most eminent citizens: Newton, Darwin, Chaucer, Dickens, Tennyson, Kipling and etc. One of the greatest treasures of the Abbey is the oaken Coronation Chair made in 1300. The Abbey is also known for its Poet`s Corner. Graves and memorials to many English poets and writers are clustered round about.

Across the road from Westminster Abbey is Westminster Palace, or the Houses of Parliament, the seat of the British Parliament. The Parliament of Great Britain and Northern Ireland consists of the House of Lords and the House of Commons. The House of Lords consists of just over 1,000 members of the different grades of nobility — dukes, marquises, earls, viscounts and barons.

The House of Commons consists of 650 members. They are elected by secret ballot by men and women aged 18 and over. Every Parliament is divided into Sessions. Each of these may last a year and usually begins early in November. The Clock Tower, which contains the hour-bell called Big Ben, is known over the world. The bell is named after Sir Benjamin Hall.

Buckingham Palace is the official residence of the Queen. The West End is the richest and most beautiful part of London. It is the symbol of wealth and luxury. The best hotels, shops, restaurants, clubs, and theatres are situated there. There are splendid houses and lovely gardens belonging to wealthy people.

Trafalgar Square is the geographical center of London. It was named in memory of Admiral Nelson`s victory in the battle of Trafalgar in 1805. The tall Nelson`s Column stands in the middle of the square. On the north side of Trafalgar Square is the National Gallery and the National Portrait Gallery.

Not far away is the British Museum — the biggest museum in London. It contains a priceless collection of ancient manuscripts, coins, sculptures, est., and is famous for its library.

The East End is the poorest district of London. There are a lot of factories, workshops and docks here. The streets are narrow, the buildings are unimpressive. The East End is densely populated by working class families.

PLACES OF INTERESTS IN GREAT BRITAIN

Britain is rich in its historic places which link the present with the past. The oldest part of London is Lud Hill, where the city is originated. About a mile west of it there is Westminster Palace, where the king lived and the Parliament met, and there is also Westminster Abby, the coronation church. Liverpool, the «city of ships», is England’s second greatest port, ranking after London. The most interesting sight in the Liverpool is the docks. They occupy a river frontage of seven miles.

The University of Liverpool, established in 1903, is noted for its School of Tropical Medicine. And in the music world Liverpool is a well-known name, for it’s the home town of «The Beatles».

Stratford-on-Avon lies 93 miles north-west of London. Shakespeare was born here in 1564, and here he died in 1616.

Cambridge and Oxford Universities are famous centers of learning. Stonehenge is a prehistoric monument, presumably built by Druids, members of an order of priests in ancient Britain. Tintagel Castle is King Arthur’s reputed birthplace. Canterbury Cathedral is the seat of the Archbishop of Canterbury, head of the Church of England.

The British Museum is the largest and richest museum in the world. It was founded in 1753 and contains one of the world’s richest collections of antiquities. The Egyptian Galleries contain human and animal mummies. Some parts of Athens’ Parthenon are in the Greek section.

Madam Tussaud’s Museum is an exhibition of hundreds of life-size wax models of famous people of yesterday and today. The collection was started by Madam Tussaud, a French modeller in wax, in the 18th century. Here you can meet Marilyn Monroe, Elton John, Picasso, the Royal Family, the Beatles and many others: writers, movie stars, singers, politicians, sportsmen, etc.

5. Подготовка к экзамену

Подготовка к экзамену включает в себя повторение всех изученных тем курса.

Билет на экзамен включает в себя тест и практико-ориентированное задание.

Наименование оценочного средства	*Характеристика оценочного средства*	*Методика применения оценочного средства*	*Наполнение оценочного средства в КОС*	*Составляющая компетенции, подлежащая оцениванию*
Экзамен:				
Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Тест состоит из 20 вопросов.	КОС - тестовые задания	Оценивание уровня знаний, умений, владений
Практико-ориентированное задание	Задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию	Количество заданий в билете – 1. Предлагаются задания по изученным темам в виде практических ситуаций.	КОС- Комплект заданий	Оценивание уровня знаний, умений и навыков

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Б1.Б.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Профиль
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Иностранных языков и деловой коммуникации	горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.	к.т.н., доцент Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 15.05.2018	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)……..... 3
1.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 3
1.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 5
1.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 6

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование) ……..... 35
2.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 35
2.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 36
2.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 38

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир) ……..... 53
3.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 53
3.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 54
3.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 58

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность) ……..... 74
4.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 74
4.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 82
4.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 82

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)

Тематика общения:

1. Я и моя семья.
2. Дом, жилищные условия.
3. Мой рабочий день.
4. Досуг и развлечения.

Проблематика общения:

1. Взаимоотношения в семье, семейные традиции.
2. Устройство квартиры/загородного дома.
3. Рабочий день студента.
4. Досуг в будние и выходные дни, активный и пассивный отдых.

1.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister

приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents
приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

1.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV

programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

My flat

I live in Ekaterinburg in a sixteen-storied dwelling house in the center of the city.
Five years ago our old wooden house was pulled down & we moved here into three-room flat with all modern conveniences.

Now we have running water, gas, electricity, central heating & a refuse chute. We live on the top floor & from the balcony we have a good view of the park. Besides we needn't mount the staircase because there is a lift to take us up.

The entrance hall is rather small. There is a hallstand & a mirror-stand there.

The sitting-room is a spacious simply furnished room. The floor spacious is about 15 square meters. It is not overcrowded with furniture. Everything fits in well. Nothing is out of place here. Next to the window there is a sofa with a stand – lamp. The bookcase in the corner of the room is full of books. On the left there are two comfortable arm-chairs opposite the TV-set & leaf – table.

In the bedroom we have dark brown suite of furniture of the latest model & thick carpet. Near the wall there is a divan-bed. In the built-in-wardrobe we keep our clothes & bed linen.
The adjoining room is the children's room. The bright pattern of the curtains & of wall paper makes the room look gay. There is a writing desk with a desk lamp, a small sofa & a lot of toys there.

In the kitchen there is a fridge, a cupboard, a kitchen table & a gas-stove. Over the sink there is a plate-rack. All kitchen utensils are close at hand.

In the corridor there is a built-in-closet, where we keep our vacuum-cleaner, electric iron & other household objects.

In the bathroom there is a bath-tub & a shower, a towel-rack & a wash-basin with a shelf above it. There tooth-brushes, a cake of soap & some shaving articles on it. Near the bath-room there is a lavatory.

There is nothing special about our flat, no rich decorations but we are accustomed to it & cannot compare it to the old one.

1.3 Систематизация грамматического материала:

1. Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях. Порядок слов в вопросительном предложении. Безличные предложения.
2. Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные).
3. Имя существительное. Артикли (определенный, неопределенный, нулевой).
4. Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have.* Оборот *there+be.*
5. Имя прилагательное и наречие. Степени сравнения. Сравнительные конструкции.
6. Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат).

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	II	III Дополнение	IV

					Обстоятельство
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.

Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?

Примеры с модальными глаголами:

She can drive a car. – Она умеет водить машину.

Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.

Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?

Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not

Например: Are you a student? - Ты студент?

Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.

Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.

Специальные вопросы могут начинаться словами:

who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?

when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?

how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?

how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:

What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: "Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?", например:

What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)
The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:
You speak French, don’t you? You are looking for something, aren’t you? Pete works at a plant, doesn’t he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:
It is not very warm today, is it? John doesn’t live in London, does he?

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Write questions and answers for the following statements, as in the example.

1 Paul was tired when he got home.
…Was Paul tired when he got home? Yes, he was…
2 They live in London.
3 She can't play the piano.
4 The film starts at nine o'clock.
5 You had an English lesson last night.
6 She has got blue eyes.
7 We didn't want to go to the beach.
8 He should follow the doctor's advice.

2. Write the short form of the following negative questions

1 Can they not decide where to go on holiday?

...Can't they decide where to go on holiday?...

2 Did Claire not invite you to her party?

3 Do you not enjoy watching horror films?

4 Have you not finished your homework yet?

5 Can she not go to town on her own?

6 Does he not know where we live?

7 Has Sue not done the shopping for you?

8 Did he not give you any details?

3. Fill in the gaps with the correct question word(s).

A: Now for the general knowledge part of the quiz.

1) ...*What*... is the capital of Egypt?

B: Cairo.

A: That's correct. 2) … can you see the Mona Lisa?

B: In the Louvre, in Paris.

A: Well done, that's right. 3) … wrote 'Romeo and Juliet'?

B: Charles Dickens.

A: No, that's incorrect. It was Shakespeare. 4) … are the Olympic Games held?

B: Every four years.

A: Correct. 5) … did the Second World War begin?

B: I think it was in 1939.

A: Yes, you're right. And the final question in this round is: 6) … players are there in a hockey team?

B: Eleven.

A: Correct. Well, at the end of that round, Contestant 2 has the most points, so he goes through to the final round to play for our star prize.

4. Fill in who, whose, what, which, where, when, how long, how often, what time, why, how much or how many.

is your jacket?' 'It's the red one.'

1. '...*Which*... is your jacket?' 'It's the red one.'
2. '…is your birthday?' 'It's next week.'
3. '… is Mary?' 'She's in her bedroom.'
4. '… have you been waiting?' Only five minutes.'
5. '… do you go shopping?' Once a week.'
6. '… are you doing at the moment?' I'm watching TV.'
7. ' … are you writing to?' 'Uncle Tom.'
8. '…do you start work?' At nine o'clock in the morning.'
9. '… pieces of toast do you want?' Two, please.'
10. '… isn't she at work today?' Because she's ill.'
11. '… did you spend last month?' About £500.'
12. ' … party are you going tonight?' 'Alison's'

5. Fill in the gaps with what, which or how.

1 A: ...*What*... do you want to do when you leave school?
B: I'm not really sure. I'd like to be a vet.

2 A: … bag do you prefer - the black one or the brown one?
B: I like the black one best.

3 A: … old are you?
B: It was my birthday last week. Now I'm fifteen.

4 A: … did you get my telephone number?
B: I looked in the staff address book.

5 A: … shall we do on Saturday?
B: Let's just stay at home and watch a video.

6 A: … house did you prefer — the one we saw first or second?
B: I didn't like either. We'll have to keep looking.
7 A: … many pairs of shoes did you buy last year?
B: Only two. One in the summer and one in the winter.
8 A: … is your favourite food?
B: Roast chicken.

6. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The tiger** is the largest member of the cat family.
…Which is the largest member of the cat family?...
2 A mature male tiger weighs **between 160 and 230 kg**.
3 Tigers are usually **orange with black stripes**.
4 Tigers live **in Russia, China, India and South-East Asia.**
5 **The Javan tiger, the Bali tiger and the Caspian tiger** are extinct.
6 Tigers eat **a variety of smaller animals, including deer.**
7 Tigers can produce young **at any time of year.**
8 Tigers usually have **two or three** cubs at a time.
9 Tigers live **for an average of eleven years.**
10 Tigers are hunted **for sport or for their fur**.

7. Write questions to which the words in bold are the answers.

Claudette is **32 years old**. She lives **in Paris, France**, and has lived there **since she was 5 years old.** Claudette works as **a lawyer** for a successful law firm, and she travels to work **by car** every day. Claudette is married. Her husband's name is **Jean**. They have **two** dogs. She loves **to take the dogs for long walks** every evening **after work.** Claudette has several hobbies, such as **reading and playing the piano**, but her **favourite hobby is cooking**. Jean thinks this is good, too, **because he gets to eat the wonderful meals she makes.**

8. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The Petersons** have bought a dog.
…Who has bought a dog?...
2 The Petersons have bought **a dog.**
…What have the Petersons bought?...
3 Rachel is writing **a letter**.
4 **Rachel** is writing a letter.
5 **Brian** likes this car.
6 Brian likes **this car**.
7 Dad broke **the window**.
8 **Dad** broke the window.
9 **Mother** will make a birthday cake.
10 Mother will make **a birthday cake**.
11 **Robin** is going to bake some biscuits.
12 Robin is going to bake **some biscuits**.

9. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 Wendy doesn't agree with **her friend's decision**.
…What doesn't Wendy agree with?...
2 James is listening to **some old records**.
3 Sharon is waiting for **the bus**.
4 The boys were talking about **football**.
5 She has got a letter from **her pen-friend**.
6 Martin is thinking about **his holiday**.
7 This jacket belongs to **Stacey.**
8 Pauline was married to **Nigel.**

10. Complete the questions.

1 There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which …*book is Sue's*...?' 'The one on the table.'
b) 'Whose …*book is on the table*…?' 'Sue's.'
2 Steven wrote four letters.
a) 'Who … ?' 'Steven.'
b) 'How many … ?' 'Four.'
3 Teresa is going to wash the car.
a) 'Who … ?' Teresa.'
b) 'What … ?' 'The car.'
4 Kate visited John in hospital yesterday.
a) 'Who … ?' 'Kate.'
b) 'Who … ?' 'John.'
5 David has taken Frank's new CD.
a) 'Whose …?' 'Frank's.'
b) 'Who …?' 'David.'
6 Alice is going to the cinema tonight.
a) 'Who …?' 'Alice.'
b) 'Where …?'The cinema.'

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему

she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас
they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother** – брат **father** – отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы - основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some **something –** *что-то, что-нибудь*

any	**anything -** *что-то, что-нибудь*
thing	
no	**nothing -** *ничего, ничто*
every	**everything -** *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone –** *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone -** *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one -** *никого, никто*
every	**everybody /everyone –** *все, каждый*

Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere -** *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere -** *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.

many girls - *много девочек*	**much snow -** *много снега*
many boys - *много мальчиков*	**much money -** *много денег*
many books - *много книжек*	**much time -** *много времени*

How many? } **сколько?**	**How many girls? -** *Сколько девочек?*
How much? } **сколько?**	**How much sugar? -** *Сколько сахара?*
	How much sugar? - *Сколько сахара?*

a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, girls – много девочек
и с неисчисляемыми существительными **a lot of**
a lot без (of) используется и без существительного. sugar - много сахара
Сравните: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.*
He writes **a lot.** *Он много пишет.*

<u>В утвердительных</u> предложениях используйте **a lot of.**
<u>В отрицательных</u> и в вопросительных **many/much,**
Сравните:
(+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*.
(-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?*
Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":**
Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.

Few, little, a few, a little
С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало), а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг	**little time -** мало времени
few girls - мало девочек	**little money -** мало денег
few boys - мало мальчиков	**little snow -** мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)**

few	a few

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	Возвратное местоимение	Пример	Перевод
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	Примеры	Перевод
определяет неисчисляемые существительные	He spent **all his** time fishing on the lake**.**	Он провел все свое время, ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I’ve got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You’ve got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч.

			(Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)
the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

Выполните упражнения на закрепление материала:

. Fill in the gaps with the correct subject or object pronoun.

1 A: Do your brothers play football?
B: Yes, ...*they*... play … all the time … think …'s a brilliant game.
2 A: Does Susan eat chocolate?
B: Yes … eats … all the time … says …'s her favourite food.
3 A: Do your parents know Mr. Jones?
B: Yes, … know … very well … lives next door to … .
4 A: Does Claire like David?
B: No, … doesn't like … very much. … says …'s too noisy.
5 A: Do you listen to rock music?
B: Yes, … listen to … all the time. … think …'s fantastic.
6 A: Does Tony enjoy fishing?
B: Oh, yes … enjoys … very much. .... says … relaxes him.

2. Fill in the gaps with there or it.

1 By the time I got home, ...*it*… was nearly ten o'clock.
2 'Is … your birthday today?" No, … was last week.'
3 Come here, Simon … is someone here to see you. I think … is your friend, Rod.
4 … wasn't warm enough to go to the beach, so we went to the cinema.
5 … wasn't very much money left after I had paid for the shopping.

3. Fill in the gaps with one or it.

1 A: I need a loaf of bread.
B: I'll buy ...*one*... this afternoon.
2 A: Is the phone ringing?
B: I can't hear … .
3 A: 'Titanic' is an amazing film.
B: I know. I've seen … twice.
4 A: When was the last time you read a book?
B: I haven't read … for months.

5 A: Have you got a car?
B: No. I can't afford … .
6 A: Do you like the new Rolling Stones CD?
B: I haven't heard … yet.
7 A: I need a dress for the party.
B: I'll lend you … .

4. Fill in the correct possessive adjective or pronoun.

1 A: Have you met ...*your*... new neighbours yet?
B: No. I've seen … children in the garden, though.
2 A: You took … coat home last night.
B: I know, I'm sorry. I thought it was … because they're both black.
3 A: What's wrong with Rosie?
B: Oh, she's been having problems with … back recently.
4 A: James is doing well at school.
B: I know … teacher says he's very advanced for his age.
5 A: Is this bag … ?
B: Oh, yes, thank you. I nearly forgot it.
6 A: Julie and Frank are so lucky … house is beautiful.
B: Yes, and it's so much bigger than … I envy them.
7 A: I like … shirt. It's like Sandra's.
B: Actually, it is … I borrowed it from her yesterday.
8 A: Why did you lend Tom … car?
B: Because … is being repaired at the moment.

5. Fill in its or it's.

1 The car is nice to drive, but I don't like ...its... colour.
2 This town is wonderful … got lots of shops!
3 I'm staying at home today because … cold outside.
4 Let's go in here … my favourite restaurant.
5 A bird has built … nest in our garden.
6 The company I work for has changed … name.

6. Fill in a possessive adjective or the.

1 A dog bit him on ...*the*... leg.
2 I banged … head on the cupboard door.
3 Karen put … arm around Jane's shoulder.
4 Don't put … feet on the tablel
5 You shouldn't have punched Tom in … stomach.
6 Paul patted Lisa on … shoulder.

7. Fill in the gaps with of where necessary, and my, your, etc. own.

1 John doesn't live with his parents any more. He's got a flat ...*of his own*...
2 She doesn't travel by bus any more because she's got … car.
3 I don't need to borrow your umbrella. I've got one … .
4 Haven't you got … pen? You're always borrowing mine.
5 My job includes doing research in … time.
6 Sam is tired of using his friend's computer, so he is going to buy one… .
7 The couple moved into … house after they got married.
8 Don't let the dog sleep on your bed. It's got a bed … .

8. Connect the nouns using -'s, -' or ...of…

1 car/Helen ...*Helen's car*…
2 the manager/the restaurant
3 shoes/women
4 the results/the test
5 bicycles/my daughters

6 secretary/the assistant manager
7 the corner/the room
8 house/their parents
9 the back/the classroom
10 shoes/William
11 walk/an hour
12 partner/Jim
13 Rome/the streets
14 UN/headquarters

9. Rewrite the sentences using the correct possessive form.

1 Nobody went to **the meeting last week**.

...Nobody went to last week's meeting....

2 The **drive** to the airport takes **two hours**.
3 They will get their exam results **six weeks from now**.
4 I look after **James - Karen — children**.
5 I received the letter in **the post - yesterday**.
6 It's autumn. **The tree - the leaves** are falling off.
7 Graham never listens to **his doctor - the advice.**
8 Are you going to **Jane - Paula - the party**?
9 He has never done a hard **day of work** in his life.
10 At the moment I'm staying with **a friend - my**.
11 I think I'll order **the special of today**.
12 The man knocked on **the house - the door**.
13 The ticket inspector looked at **the people – the tickets.**
14 **Mrs Jones - Miss Smith - cars** are being serviced.
15 **The sales target this month** is two million pounds.

10. Fill in the gaps with the correct reflexive pronoun.

1 The girl has hurt … *herself...* .
2 He put the fire out by …
3 She is looking at … in the mirror.
4 They are serving …
5 He cooked the food by …
6 They bought this house for …
7 They are enjoying …
8 He introduced …

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики

2) согласная + y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):
This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It’s a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**’s**	**bird’s house** **child’s ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**’s**	**children’s bail** **women’s rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**’**	**girls’ toy** **birds’ house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother’s book - мамина книга,

this girl’s bail - мячик девочки,

the bird’s house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with an appropriate noun + of to indicate quantity.

1 a ... carton/glass/jug of ... orange juice
2 a … cheese
3 a … bread
4 a … coffee
5 a … water
6 a … wine
7 a … chocolate
8 a … crisps
9 a … honey
10 a … meat
11 a … spaghetti
12 a … flour

2. Fill the gaps with a, an, or some where necessary.

1 a) We had ...some... delicious food last night,
b) We had ...a... delicious meal last night.
2 a) There is … beautiful furniture in that shop,
b) There is … beautiful table in that shop.
3 a) I'm thirsty. I need … drink.
b) I'm thirsty. I need … water.
4 a) She's just bought … expensive clothes.
b) She's just bought … expensive dress.
5 a) They booked … room in advance.
b) They booked … accommodation in advance
6 a) The band played … lovely song.
b) The band played … lovely music.
7 a) We had … heatwave last week.
b) We had … hot weather last week.
8 a) I can't do this job alone. I need … assistant
b) I can't do this job alone. I need … help.
9 a) He has got … heavy luggage to carry.
b) He has got … heavy suitcase to carry.
10 a) I need … cutlery to eat this food with.
b) I need … knife and fork to eat this food with.
11 a) She has got … important job to do.
b) She has got … important work to do.
12 a) He found … coin on the ground.
b) He found … money on the ground.

3. Complete the sentences using the noun in brackets in the singular or plural form and a/an where necessary.

1. He gave me a box' of my favourite ...chocolates.... (chocolate)
2. His favourite food is … . (chocolate)
3. She bought … on her way to work. (paper)
4. He placed all the important … in his briefcase. (paper)
5. I need some … to write this message on. (paper)
6. Hurry up! We don't have much …. (time)
7. She has visited us several … this month. (time)
8. He has no … but he is keen to learn. (experience)
9. She had a lot of exciting … during her travels. (experience)
10. We went far a walk in the … after lunch. (wood)
11. His desk is made of ……. . (wood)
12. Jane is in her… reading a book. (room)
13. We have got plenty of … for a party in here. (room)
14. I am going to have my … cut tomorrow. (hair)
15. There was …in my soup. (hair)
16. I'm thirsty. I need … of water. (glass)
17. Susan only wears her … when she reads. (glass)
18. This ornament is made of coloured …. . (glass)
19. Helen bought … in the sale at the electrical store. (iron)
20. The old gate was made of … .(iron)

4. Cross out the expressions which cannot be used with the nouns, as in the example.

1 There are **several, many, <u>much,</u> plenty of, <u>too little</u>** things you can do to help.
2 He has met **a couple of, a few, very little, plenty of, too much** interesting people.
3 She earns **few, hardly any, plenty of, several, a great deal** of money.
4 We have got **no, many, lots of, a great deal of, a few** work to do.
5 Don't worry, there's **a little, plenty of, a couple of, many, a lot of** time.
6 **Both, Several, A large quantity of, Plenty of, Too much** students applied for the course.
7 He's got **no, hardly any, a little, some, a small amount of** qualifications.
8 She's got **hardly any, several, a little, a few, a lot of** experience in dealing with customers.
9 There is **too much, a lot of, hardly any, few, several** salt in this soup.
10 There is **a little, many, too much, a great number of, some** traffic on the roads today.

5. Underline the correct word.

1 A: I have a Physics exam tomorrow.
B: Oh dear. Physics **<u>is</u>/are** a very difficult subject.
2 A: My office is three miles from my house.
B: Three miles **is/are** a long way to walk to work.
3 A: My little brother has got measles.
B: Oh dear. Measles **is/are** quite a serious illness.
4 A: Jane looked nice today, didn't she?
B: Yes. Her clothes **were/was** very smart.
5 A: I've got two pounds. I'm going to buy a CD.
B: Two pounds **is/are** not enough to buy a CD.
6 A: The classroom was empty when I walked past.
B: Yes. The class **was/were** all on a school outing.
7 A: Have you just cleaned the stairs?
B: Yes, so be careful. They **is/are** very slippery.
8 A: Did you ask John to fix your car?
B: Yes. His advice **was/were** that I take it to a garage.

9 A: Did you enjoy your holiday?
B: Yes, thank you. The weather **was/were** wonderful.
10 A: These trousers **is/are** very old.
B: You should buy a new pair.
11 A: How **is/are** the company doing lately?
B: Great. We opened up two more branches.
12 A:' I am going to travel for two years when I finish school.
B: Two years **is/are** a long time to be away from home.

6. Finish the sentences, as in the example.

1 You need a lot of experience to do this job. A lot of experience ...is needed to do this job...
2 They gave us some interesting information. The information …
3 She likes Maths more than any other subject. Maths …
4 We had mild weather this winter. The weather …
5 We called the police immediately. The police …
6 I told them some exciting news. The news …
7 He was irritated because of the bad traffic. He was irritated because the …
8 I stayed in very luxurious accommodation. The accommodation …
9 The driver took the luggage out of the car. The luggage …
10 She gave me very sensible advice. The advice she gave me …
11 These shorts are too big for me. This pair of shorts …
12 The hotel is in magnificent surroundings. The hotel surroundings …
13 She's got long blonde hair. Her hair …

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово “an hour” (час) начинается с согласной буквы “h”, но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю “a” также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise!

	Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth
с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner in the morning, In the evening, in the afternoon what’s the use? to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	The table is in the middle of the room. I never drink coffee in the evening. What's the use of going there so late? Do you like going to the theatre? He works at the shop.

at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market the fact is (was) that... where is the…? in the country, to the country	The fact is that I have no money at all. Where is the doctor? We always spend summer in the country.

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание “no”	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.
с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc HO: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James’ Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное	what animals can swim? I know what thing you have lost!

местоимение	

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты: His son goes to school. Его сын учится в школе.
She has written an interesting article. Она написала интересную статью.
A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:
"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.
Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:
Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?

I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.
Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.
В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?
She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.
Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.

It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)
There are three books on the desk.
They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.
There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.
This is the same town fifty years ago.
There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.

б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.

в) в следующих высказываниях: I’ve got a headache. I’ve got a temperature. I’ve got a cough, I’ve got a toothache, I’ve got a cold, I’ve got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?

You have (got) They have (got)	You've (got) They've (got)	You have not (got) They have not (got)	You haven't (got) They haven't (got)	Have they (got)?

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе **ни приставок, ни суффиксов: small** - *маленький*, **long** - *длинный*, **white** - *белый*.

К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	**Пример**	**Перевод**
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting -** интересный
bored - скучающий	**boring -** скучный
surprised - удивленный	**surprising -** удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**

Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:

- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**

- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**

- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке - добавляем “е” (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er -** холоднее	the cold**est -** самый холодный
big - большой	bigg**er -** больше	the bigg**est -** самый большой
kind - добрый	kind**er -** добрее	the kind**est -** самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

clever — умный **easy -** простой **able -** способный **busy -** занятой	clever**er - умнее** eas**ier - проще** abl**er - способнее** bus**ier - более занятой**	**the** clever**est - самый умный** **the** easi**est - самый простой** **the** abl**est - самый способный** **the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **“e” ,** то при прибавлении **– er и – est немое “e” опускается:**

larg**e – larg**er - **the** larg**est /** большой – больше – самый большой

brav**e – brav**er **– the** brav**est /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – bigg**er –** bigg**est /** большой – больше – самый большой

hot – hott**er –** hott**est /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на “y” с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **“y” переходит в “i”:**

busy – bus**ier –** bus**iest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
beautiful - красивый **interesting – интересный** **important - важный**	**more beautiful -** красивее **more interesting -** интереснее **more important -** важнее	**the most beautiful -** самый красивый **the most interesting -** самый интересный **the most important -** самый важный

Особые формы

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
good - хороший **bad -** плохой **little -** маленький **much/many -** много **far -** далекий/далеко **old -** старый	**better -** лучше **worse -** хуже **less -** меньше **more -** больше **farther/further -** дальше **older/elder -** старше	**the best -** самый лучший **the worst -** самый плохой **the least -** самый маленький, меньше всего **the most -** больше всего **the farthest/furthest -** самый дальний **the oldest/eldest -** самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
beautiful – красивый **interesting -** интересный	**less beautiful -** менее красивый	**the least beautiful –** самый некрасивый

important - важный	**less interesting –** менее интересный **less important -** менее важный	**the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **“of”:**

hundreds <u>of</u> children – сотни детей

thousands <u>of</u> birds- тысячи птиц

millions <u>of</u> insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:

224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)

Тематика общения:

1. Высшее образование в России и за рубежом.
2. Мой вуз.
3. Студенческая жизнь.

Проблематика общения:

1. Уровни высшего образования.
2. Уральский государственный горный университет.
3. Учебная и научная работа студентов.
4. Культурная и спортивная жизнь студентов.

2.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать; **to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере;

course of studies - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

2.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

This text is dedicated to the history of the Ural State Mining University formerly called the Sverdlovsk Mining Institute. It was founded in 1917. It is the oldest higher technical educational institution in the Urals. In 1920 the Mining Institute became a faculty of the Ural State University and in 1925 of the Ural Polytechnical Institute. In 1930 this faculty was reorganized into the Mining Institute. The Institute was named after V.V. Vakhrushev the USSR Coal Industry Minister in 1947. It was awarded the Order of the Red Banner of Labour in 1967.

In 1993 the Sverdlovsk Mining Institute was reorganized into The Ural State Academy of Wining and Geology. In 2004 The Ural State Academy of Mining and Geology was reorganized into The Ural State Mining University. The University provides full-time and extramural education in many specialities. There are post graduate courses at the University as well.

The University is an important scientific research center. Many doctors and masters of Science teach and carry out scientific work at the University. Capable students take part in research projects. The graduates of the University work all over the country.

There are six faculties at the Ural State Mining University: Faculty of Mining Technology; Faculty of Mining Mechanics; Faculty of Geology & Geophysics; Faculty of Civil Protection; Faculty of City Economy; Faculty of Extramural Education; and The Institute of World Economics.

Besides there is a Preparatory faculty where young people get special training before taking entrance exams. The Faculty of Additional Education offers an opportunity to get the second higher education.

Each faculty trains mining engineers in different specialities.

There are many specialities at the Faculty of Extramural Education where students have to combine work with studies. Very often the Ural State Mining University organizes training specialists in new modern specialities.

Faculties consist of Departments. Each faculty is headed by the Dean. The head of the Academy is the Rector.

The University is housed in four buildings. Building, One houses - the Rector's office, the Deans' offices, number of administrative offices, Faculty of City Economy, the Faculty or Mining Mechanics with its numerous departments and laboratories (labs).

Building Two houses the Faculty of Mining Technology, Faculty of Civil Protection, the Deans' offices, many departments, labs and the computation centre.

Building Three houses the Faculty of Geology & of Geophysics, the Faculty of Extramural Education, the Dean's offices, many departments and labs. The Ural Geological Museum, the Museum of the History of the Ural State Mining University and some administrative offices are also housed in this building.

Building Four houses The Institute of World Economics, the Dean's office, departments and labs, the library, reading halls, the Assembly hail, the students cultural centre and a large canteen where students can have their meals.

The library and the reading halls provide students with all kinds of reading: textbooks, reference books / справочники/ dictionaries, magazines and fiction/ художественная литература/.

Besides not far from the University there are four five-storied buildings of the student hostel, where most students live. Near the hostels there is a House of Sports. There students can go in for- different kinds of sports: chess, badminton, table tennis, boxing, wrestling, weight lifting, basketball, volleyball, handball.

The Ural State Mining University offers students three different programs of higher education such as: Bachelors, Diplomate Engineers and Magisters.

The course of studies for a bachelor's degree lasts four years. The academic year begins in September and ends in June. It consists of two terms - September to January and February to June. Students attend lectures and practical classes. As a rule, there are three or four periods of lectures and Classes a day with 20 minutes break between them.

During their first two years students take the following subjects: higher mathematics, physics, chemistry, theoretical air-mechanics, descriptive geometry, general geology, mineralogy, geodesy, history, a foreign language (English, French or German). Besides all the students learn to operate a computer.

Students take their tests and exams at the end of each term. After exams students have their holidays or vacations. At the end of the academic year the students of the academy have practical work at mines, mineral dressing plants, geological & geophysical parties. At the end of the final year students present their graduation papers for approval. After getting the Bachelor's degree the graduates have a possibility to continue their education. They can enter a Diplomate Engineer's course or studies

which lasts one academic year or the graduates can take a two-year program of Magister's degree. After defending final papers these graduates can enter the post-graduate courses.

2.3 Систематизация грамматического материала:

1. Образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],

Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.
Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the present simple or the present continuous.

1 A: *Do you know* (you/know) that man over there?
B: Actually, I do. He's Muriel's husband.

2 A: Are you doing anything tomorrow evening?
B: Yes. I … (see) Jack at nine o'clock.

3 A: I … (see) you're feeling better.
B: Yes, I am, thank you.

4 A: What's that noise?
B: The people next door … (have) a party.

5 A: Graham … (have) a new computer.
B: I know. I've already seen it.

6 A: This dress …. (not/fit) me any more.
B: Why don't you buy a new one?

7 A: Your perfume … (smell) nice. What is it?
B: It's a new perfume called Sunshine.

8 A: What is Jane doing?
B: She … (smell) the flowers in the garden.

9 A: What … (you/look) at?
B: Some photos I took during my holidays. They aren't very good, though.

10 A: You … (look) very pretty today.
B: Thank you. I've just had my hair cut.

11 A: I … (think) we're being followed.
B: Don't be silly! It's just your imagination.

12 A: Is anything wrong?
B: No. I … (just/think) about the party tonight.

13 A: This fabric … (feel) like silk.
B: It is silk, and it was very expensive.

14 A: What are you doing?

B: I … (feel) the radiator to see if it's getting warm.

15 A: She … (be) generous, isn't she?
B: Yes, she has never been a mean person.

16 A: He … (be) very quiet today, isn't he?
B: Yes, I think he has some problems.

17 A: Would you like some cherries?
B: Yes, please. I … (love) cherries. They're my favourite fruit.

18 A: I'm sorry, but I … (not understand) what you mean.
B: Shall I explain it again?

19 A: The children are making lots of noise today.
B: I know, but they … (have) fun.

20 A: This cake … (taste) awful.
B: I think I forgot to put the sugar in it!

2. Fill in the gaps with recently, how long, yet, for, always, ever, already, since, so far or just. Sometimes more than one answer is possible.

1 A: Has Tom finished his exams ...yet...?
B: No. He finishes them next Thursday.

2 A: … has Janet been working at the hospital?
B: She has been working there … she left school.

3 A: How are you finding your new job?
B: Great. I haven't had any problems … .

4 A: Is John at home, please?
B: No, I'm afraid he's … gone out.

5 A: Have you been waiting long?
B: Yes, I've been here … two hours.

6 A: Has Martin … been to Spain?
B: No. I don't think so.

7 A: Have you spoken to Matthew … ?
B: Yes. I phoned him last night.

8 A: Can you do the washing-up for me, please?
B: Don't worry. Mike has … done it.

9 A: Lucy has … been musical, hasn't she?
B: Yes, she started playing the piano when she was five years old.

10 A: Shall we go to that new restaurant tonight?
B: Yes. I have … been there. It's really nice.

11 A: Your dog's been barking … three hours!
B: I'm sorry. I'll take him inside.

12 A: Have you finished reading that bodk yet?
B: No. I've … started it.

3. Put the verbs in brackets into the present perfect or continuous, using short forms where appropriate.

1 A: How long ...*have you known*... (you/know) Alison?
B: We ... (be) friends since we were children.

2 A: Who … (use) the car?
B: I was. Is there a problem?

3 A: What are Andrew and David doing?
B: They … (work) in the garden for three hours.

4 A: Why is Sally upset?
B: She … (lose) her bag.

5 A: I … (always/believe) that exercise is good for you.

B: Of course, it's good to keep fit.

6 A: Emily … (teach) maths since she left university.
B: Yes, and she's a very good teacher, too.

7 A: Fred … (open) a new shop.
B: Really? Where is it?

8 A: This pie is delicious.
B: Is it? I … (not/taste) it yet.

9 A: Have you found your umbrella yet?
B: No, I … (look) for it for an hour now.

10 A: You look exhausted.
B: Well, I … (clean) the windows since 8 o'clock this morning.

11 A: Can I have some more lemonade, please?
B: Sorry, your brother … (just/drink) it all.

12 A: Have you got new neighbours?
B: Yes, they … (just/move) to the area.

4. Put the verbs in brackets into the present perfect or the present perfect continuous.

Dear Connie,

I hope you are enjoying yourself at university. I'm sure you 1)...*'ve been studying*... (study) hard. Everything is fine here at home. Billly 2) … (just/receive) his school report. It was bad, as usual. He 3) … (decide) to leave school next year and find a job. Fiona 4) … (go) to the gym every day for the past two weeks. She 5) … (try) to get in shape for the summer. She 6) … (already/plan) her holiday in the sun. Your father 7) … (sell) the old car and he 8) … (buy) a new one. It's lovely — much nicer than the old one.

Anyway, write soon.

Love, Mum

5. Fill in the gaps with have/has been (to) or have/has gone (to).

Jack: Hi, Jill. Where's Paul?

Jill: Oh, he 1) ...*has gone to*... London for a few days.

Jack: Really! I 2) … London recently. I came back yesterday. 3) … you … there?

Jill: No, I haven't. Paul 4) … twice before, though. Where's Sarah?

Jack: She 5) … Spain for two weeks with her parents. They 6) … there to visit some friends.

Jill: When is she coming back?

Jack: They'll all be back next weekend.

6. Choose the correct answer.

1 'What time does the train leave?'
'I think it ..*A*... at 2 o'clock.'
A leaves
B has been leaving
C has left

2 'Where are Tom and Pauline?'
They … e supermarket.'
A have just gone
B have been going
C go

3 What is Jill doing these days?'
She … for a job for six months.'
A is looking
B has been looking
C looks

4 Is Mandy watching TV?'
No. She … her homework right now.'
A is always doing
B is doing
C does

5 'Have you been for a walk?'
'Yes. I often … for walks in the evenings.'
A have gone
B am going
C go

6 'Have you seen any films lately?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have seen
B am seeing
C see

7 'What … ?'
'It's a piece of cherry pie. Mum made it yesterday.'
A are you eating
B do you eat
C have you eaten

8 'Are you going on holiday this summer?'
'Yes. I … enough money.'
A am saving
B have already saved
C save

9 'Is Todd reading the newspaper?'
'No. He … dinner at the moment.'
A has been making
B makes
C is making

10 'Have you bought any new CDs recently?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have bought
B have been buying
C am buying

11 'What time does the play start?'
'I think it … at 8 o'clock.'
A has been starting
B starts
C has started

12 'Where is Mark?'
'He … to the library to return some books.'
A has gone
B has been
C is going

13 'What … ?'
'It's a letter to my pen-friend. I'm telling her my news.'
A have'you written
B do you write
C are you writing

7. Underline the correct tense.

1. Liz and I are good friends. We **know/<u>have known</u>** each other for four years.
2. Sarah is very tired. She **has been working / is working** hard all day.
3. Where is John?' 'He's upstairs. He **does/is doing** his homework.'
4. I can't go to the party on Saturday. I **am leaving/ have been leaving** for Spain on Friday night.
5. Jane **has finished/is finishing** cleaning her room, and now she is going out with her friends.
6. I didn't recognise Tom. He **looks/is looking** so different in a suit.
7. I don't need to wash my car. Jim **washes/has washed** it for me already.
8. Ian **has been talking/is talking** to his boss for an hour now.
9. Claire's train **arrives/has arrived** at 3 o'clock. I must go and meet her at the station.
10. 'Would you like to borrow this book?' 'No, thanks. I **have read/have been reading** it before.'
11. 'Where **are you going/do you go**?' To the cinema. Would you like to come with me?'
12. Have you seen my bag? I **am searching/have been searching** for it all morning.
13. 'Is Colin here?' 'I don't know. I **haven't seen/ haven't been seeing** him all day.'
14. Sophie is very clever. She **is speaking/speaks** seven different languages.
15. We **are moving/have moved** house tomorrow. Everything is packed.

8. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 Who …*has been using* … (use) my toothbrush?
2 'What … (you/do)?' 'I … (write) a letter.'
3 Samantha … (play) tennis with friends every weekend.
4 Tim and Matilda … (be) married since 1991.
5 Uncle Bill … (just/decorate) the bathroom.
6 Pauline and Tom … (sing) in the school choir twice a week.
7 Who … (you/speak) to?
8 Sarah is very happy. She … (win) a poetry competition.
9 He … (drink) two cups of coffee this morning.
10 My friend … (live) in America at the moment.
11 They … (usually/change) jobs every five years.
12 I … (normally/cut) my hair myself.
13 Linda … (study) in the library for three hours.
14 We … (play) in a concert next weekend.
15 Who … (read) my diary?
16 Tim … (leave) the house at 7 o'clock every morning.
17 … (your mother/work) in a bank?
18 … (you/drink) coffee with your breakfast every day?
19 We … (make) plans for our summer holidays right now.
20 They… (move) house in September.

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What ...*are you doing*... (you/do)?
B: Nothing. I … (just/finish) my lunch.
2 A: Where … (you/be) all morning?
B: I … (clean) my house since 8 o'clock.
3 A: … (you/do) anything next weekend?
B: No, I … (not/make) any plans yet.
4 A: Jane looks great. … (she/lose) weight?
B: Yes, she … (exercise) a lot recently.
5 A: … (be/you) busy right now?
B: Yes, I … (just/start) typing this report.
6 A: Where is Peter?
B: He … (wash) the car at the moment.
7 A: Who … (be) your favourite actor?

B: I … (like) Sean Connery since I was a child.

8 A: … (you/do) your homework yet?

B: Almost; I … (do) it now.

10. Put the verbs in brackets into the correct tense.

Dear Nick,

This is just a short note to tell you I 1) ...*'m arriving/arrive*... (arrive) at the airport at 5 pm on Saturday, 10th December. I 2) … (be) very busy recently, and that's why I 3) … (not/write) to you for a while. I 4) … (plan) this trip for months, so now I 5) … (look forward) to spending some time with you and your family. I 6) … (hope) you will be able to meet me at the airport. Please give my love to your wife and the children.

See you soon,
James

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn’t use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,

They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,

She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous. Which was the longer action in each sentence?

1. They ...*were cleaning*... (clean) the windows when it …*started*... (start) to rain.
Cleaning the windows was the longer action.
2. As he … (drive) to work, he … (remember) that his briefcase was still at home.
3. Melanie … (cook) dinner when her husband … (come) home.
4. I … (hear) a loud crash as I … (sit) in the garden.
5. She … (type) a letter when her boss … (arrive).
6. While the dog … (dig) in the garden, it … (find) a bone.
7. Mary … (ride) her bicycle when she … (notice) the tiny kitten.
8. While I … (do) my homework, the phone … (ring).

2. A policeman is asking Mrs Hutchinson about a car accident she happened to see yesterday. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

P: What 1) ...*were you doing*... (you/do) when you 2) … (see) the accident, madam?
H: I … (walk) down the street.
P: What exactly 4) … (you/see)?
H: Well, the driver of the car 5)… (drive) down the road when suddenly the old man just 5) … (step) in front of him! It 6) … (be) terrible!
P: 8) … (the driver/speed)?
H: No, not really, but the old man 9) … (not/look) both ways before he ... (try) to cross the road.
P: 11) ... (anyone else/see) the accident?
H: Yes, the lady in the post office.
P: Thank you very much.

3. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

A As soon as Margaret 1) ...*got*... (get) off the train, she 2) … (pull) her coat around her. Rain 3) … (fall) heavily and a cold wind 4) … (blow) across the platform. She 5) … (look) around, but no one 6)

… (wait) to meet her. She 7) … (turn) to leave when she 8) … (hear) footsteps. A man 9) … (walk) towards her. He 10) … (smile) at her, then he 11) … (say), 'You're finally here.'

B George 1) … (pick) up his bag then, 2) … (throw) it over his shoulder. It 3) … (get) dark and he 4) … (have) a long way to go. He wished that he had let someone know that he was coming. It 5) … (start) to rain, and he was feeling cold and tired from the long journey. Suddenly, he 6) … (hear) a noise, then he 7) … (see) two bright lights on the road ahead. A car 8) … (head) towards him. It slowed down and finally 9) … (stop) beside him. A man 10) … (sit) at the wheel. He 11) … (open) the door quickly and 12) … (say) 'Get in, George.'

C Andy 1) … (step) into the house and 2) … (close) the door behind him. Everything 3) … (be) quiet. His heart 4) … (beat) fast and his hands 5) … (shake) as he crept silently into the empty house, but he was trying not to panic. He soon 6) … (find) what he 7) … (look) for. He smiled with relief as he put on the clothes. The men who 8) … (follow) him would never recognise him now.

4. Imagine that you were present when these things happened, then, in pairs, ask and answer questions, as in the example.

SA: What were you doing when the burglar broke in?
SB: I was watching TV.
SA: What did you do?
SB: I called for help.

1 The burglar broke in.
2 The storm broke.
3 The lights went out.
4 The boat overturned.
5 The earthquake hit.
6 The building caught fire.

5. Rewrite each person's comment using used to or didn't use to.

1 Sally - 'I don't walk to work any more.'
I used to walk to work.
2 Gordon - 'I've got a dog now.'
3 Lisa - 'I don't eat junk food any more.'
4 Jane - 'I go to the gym every night now.'
5 Paul - 'I'm not shy any more.'
6 Edward - 'I live in a big house now.'
7 Helen - 'I haven't got long hair any more.'
8 Frank - 'I eat lots of vegetables now.'

6. Choose the correct answer.

1 'I find it hard to get up early.'
'You ...*3*... to getting up early once you start working.'
A are used
B will get used
C were used

2 'Do you often exercise now?'
'No, but I … to exercise a lot when I was at school.'
A used
B will get used
C am used

3 'Aren't you bothered by all that noise?'
'No, we … to noise. We live in the city centre.'
A were used
B will get used

C are used

4 'Does your sister travel a lot?'
'No, but she … to before she got married.'
A didn't use
B used
C wasn't used

5 'I don't like wearing a suit every day.'
'Don't worry, you … to it very soon.'
A are used
B will get used
C were used

6 'Sandra … to using a computer, but now she enjoys it.'
'It's a lot easier for her now.'
A isn't used
B will get used
C wasn't used

7 'Do you remember the things we … to do when we were kids?'
'Of course I do. How could I forget what fun we had!'
A used
B were used
C got used

8 'Do you like living in the city?'
'Well, I … to it yet, but it's okay.'
A am not used
B wasn't used
C am used

7. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the correct form. Use each verb twice.

wash, walk, play, work

1 I used to ...*work*... in a shop, but now I work in an office.
2 I can't concentrate. I'm not used to … in such a noisy office.
3 Tom lived in the country for years. He used to … miles every day.
4 I'm exhausted. I'm not used to … such long distances.
5 Mary used to … her clothes by hand, but now she uses a washing machine.
6 We haven't got a washing machine, so we're used to … our clothes by hand.
7 The children are bored with the bad weather. They're used to … outside.
8 When we were younger, we used to … cowboys and Indians.

8. Put the verbs in brackets into the past simple or the present perfect.

1. A: Do you know that man?
B: Oh yes. He's a very good friend of mine. I 1) ...*'ve known*... (know) him for about ten years.
A: I think I 2) … (meet) him at a business meeting last month.

2. A: Mum 1) … (lose) her purse.
B: Where 2) … (she/lose) it?
A: At the supermarket while she was shopping.

3. A: Who was on the telephone?
B: It 1) … (be) Jane.
A: Who is Jane?
B: Someone who 2) … (work) in my office for a few years. She's got a new job now, though.

4. A: Who is your favourite singer?
B: Freddie Mercury. He 1) … (have) a wonderful voice.
A: Yes, I agree. He 2) … (enjoy) performing live, too.

9. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the past perfect continuous.

read, scream, argue, try, eat, watch

1. Emily was angry. She ...*had been arguing*… with her parents for an hour.
2. Hannah felt sick. She … chocolates all afternoon.
3. Allan had a headache. His baby sister … for half an hour.
4. Emily was frightened. She … a horror film for half an hour.
5. Simon was confused. He … to win the game for hours.
6. John was very tired. He … all night.

10. Put the verbs in brackets into the correct past tense.

A: On Monday morning, Jo 1) ... *missed*... (miss) the bus and had to walk to school. When she 2) … (arrive), the bell 3) … (already/ring)', and lessons 4) … (start). The children 5) … (work) quietly when Jo 6) … (walk) into the'classroom.

B: When Jamie 1) … (get) to the party, a lot of people 2) … (dance) to pop music. Everyone 3) … (wear) jeans and T-shirts. Jamie 4) … (buy) a new suit for the party and he 5) … (wear) that. He 6) … (feel) quite silly because everyone 7) … (look) at him.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,

Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Tanya Smirnoff is a famous astrologer. She's been invited on a TV show to give her astrological predictions for next year. Using the prompts below, make sentences, as in the example.
e.g. An eartyhquake will strike Asia.

1 earthquake/strike/Asia
2 Tom Murray/win/elections
3 economy/not improve/significantly
4 number of road accidents/increase
5 America/establish/colony/on Mars
6 scientists/not discover/cure for common cold

2. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the examples.

SA: Are you going to pay the bill?
SB: Yes, that's what I'm going to do.
SA: Are you going to complain to the manager?
SB: No, that's not what I'm going to do.

1. pay the bill (√)
2. complain to the manager (X)
3. take the skirt back to the shop (√)
4. buy the jumper (√)
5. ask the bank manager for a loan (X)
6. order the food (√)
7. book the airline tickets (X)

3. Fill in the gaps with the correct form of will or be going to and the verb in brackets.

1 A: Why are you buying flour and eggs?
B: Because I ...*'m going to make*... (make) a cake.
2 A: I have decided what to buy Mum for her birthday.
B: Really. What … (you/buy) for her?
3 A: Did you ask Jackie to the party?
B: Oh no! I forgot! I … (ask) her tonight.
4 A: Could I speak to Jim, please?
B: Wait a minute. I … (get) him for you.
5 A: What are your plans for the weekend?

B: I … (spend) some time with my friends.

6 A: What are you doing on Friday night?
B: Oh, I … (probably/stay) at home with my family.

7 A: Have you tidied your room yet?
B: No, but I promise I … (do) it this afternoon.

8 A: Look at that boy!
B: Oh yes! He … (climb) the tree.

9 A: Jason is very clever for his age.
B: Yes. He says he … (become) a doctor when he grows up.

10 A: I'm too tired to cut the grass.
B: Don't worry! I (cut) it for you.

4. Fill in the gaps with shall, will or the correct form of be going to.

1 A: It's too hot in here.
B: You're right. I ...*will*... open a window.

2 A: … I put the baby to bed, now?
B: Yes, he looks a little tired.

3 A: Have you seen Lucy recently?
B: No, but I … meet her for lunch later today.

4 A: Have you done the shopping yet?
B: No, but I … probably do it tomorrow, after work.

5 A: … we ask Mr Perkins for help with the project?
B: That's a good idea. Let's ask him now.

5. Replace the words in bold with will/won't or shall I/we, as in the example.

1 I've asked Paul to talk to the landlord, but he **refuses to** do it.
I've asked Paul to talk to the landlord, but he won't do it.

2 **Do you want me** to make a reservation for you?

3 **Can** you call Barry for me, please?

4 **Why don't we** try this new dish?

5 Where **do you want me** to put these flowers?

6. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.

SA: *When will you do the gardening?*
SB: *I'll do it after I've done the shopping.*

1 do the gardening / do the shopping
2 post the letters / buy the stamps
3 iron the clothes / tidy the bedroom
4 water the plants / make the bed
5 do your homework / have my dinner
6 pay the bills / take the car to the garage

7. Put the verbs in brackets into the present simple or the future simple.

1 A: I'm going to the gym tonight.
B: Well, while you ...*are*... (be) there, I … (do) the shopping.

2 A: … (you/call) me when you … (get) home?
B: Yes, of course.

3 A: As soon as John … (come) in, tell him to come to my office.
B: Certainly, sir.

4 A: I'm exhausted.
B: Me too. I wonder if David … (come) to help tonight.

5 A: Are you going to visit Aunt Mabel this afternoon?

B: Yes, I ... (visit) her before I … (do) the shopping.

6 A: Is George going to eat dinner with us?
B: No, by the time he … (get) home it … (be) very late.

7 A: When … (you/pay) the rent?
B: When I … (get) my pay cheque.

8 A: What are your plans for the future?
B: I want to go to university after I … (finish) school.

9 A: If you … (pay) for dinner, I … (pay) for the theatre.
B: Okay, that's a good idea.

10 A: Can you give this message to Mike, please?
B: Well, I'll try, but I doubt if I … (see) him today.

8. Put the verbs in brackets into the future simple, the present simple or the present continuous.

1 A: I ...*am seeing*... (see) Roger at seven o'clock tonight.
B: Really? I thought he was out of town.

2 A: … (you/do) anything on Friday morning?
B: No, I'm free.

3 A: I … (go) to the cinema. There's a new film on. Do you want to come with me?
B: What time … (the film/start)?

4 A: Helen … (have) a party the day after tomorrow. … (you/go)?
B: As a matter of fact, I haven't been invited.

5 A: The new exhibition … (open) on April 3rd and … (finish) on May 31st.
B: I know. I … (go) on the first day.

6 A: Aunt Maggie … (come) to visit us tomorrow.
B: I know. What time … (she/arrive)?

7 A: Excuse me, what time … (the train/leave)?
B: At half past three, madam.

8 A: Michael Jackson … (give) a concert at the Olympic Stadium next week.
B: I know. I … (want) to get a ticket.

9 A: I'm really thirsty.
B: I … (get) you a glass of water.

10 A: Are you looking forward to your party?
B: Yes. I hope everyone … (enjoy) it.

11 A: How old is your sister?
B: She .. (be) twelve next month.

12 A: What are you doing tonight?
B: I … (probably/watch) TV after dinner.

9. A) Cliff Turner has his own business and it is doing well. He has already decided to expand. Look at the prompts and say what he is going to do, as in the example.

1. employ more staff

He's going to employ more staff.

2. advertise in newspapers and magazines
3. equip the office with computers
4. increase production
5. move to bigger premises
6. open an office abroad

B) Cliff is always busy. Look at his schedule and say what his arrangements are for the next few days. Make sentences, as in the example.

Wednesday 12th: fly to Montreal

He is flying to Montreal on Wednesday.
Thursday 13th: give an interview to The Financial Times
Friday 14th: have lunch with sales representatives
Saturday 15th: have a meeting with Japanese ambassador
Sunday 16th: play tennis with Carol

10. ln Pairs, ask and answer the following questions using I (don't) think/expect I will or I hope /'m sure/'m afraid I will/won't, as in the example.
SA: *Do you think you will pass your exams?*
SB: *I hope I will/I'm afraid I won't.*
1 pass/exams
2 move house
3 take up / new hobby
4 make / new friends
5 start having music lessons
6 have / party on / birthday
7 learn/drive

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир)

Тематика общения:

1. Екатеринбург – столица Урала.
2. Общее и различное в национальных культурах.

Проблематика общения:

1. Мой родной город.
2. Традиции и обычаи стран изучаемого языка.
3. Достопримечательности стран изучаемого языка.

3.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist's/a pharmacy/a drugstore - аптека
a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки

a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна
a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

3.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant

produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

The History of Ekaterinburg

The famous Soviet poet V. Mayakovsky called out city "A Worker and a Fighter" and these words most fully reflect the features of Ekaterinburg.

Ekaterinburg is nowadays one of the leading industrial cities of Russia, an administrative & cultural centre of the Sverdlovsk region. It is the capital of the Urals.

Ekaterinburg has sprung up in the upper reaches of the Iset River in the middle part of the Urals Mountains near the border of Europe and Asia. It stretches from North to South for 25 km. and 15 km. from East to West.

The history of our city is very interesting. It was founded at the beginning of the XVIII century as a fortress-factory in connection with the construction of the Urals iron works. The works was constructed under the supervision of Tatishchev, a mining engineer, who was sent to the Urals by Peter the first. It was put into operation in November 1723. This date is considered to be the date of the birthday of city. It was named Ekaterinburg. On the place of the first works there is the Historical Square now.

The town grew and developed as the centre of an important mining area where the mining administration office was located. Ekaterinburg was an ordinary provincial town like many others in Russia before the October Revolution. It had only one theatre, four hospitals, one mining school and not a single higher school.

At the end of the XIX century Ekaterinburg became one of the centres of the revolutionary struggle. Many squares, streets and houses of the city keep the memory of the revolutionary events and the Civil War in the Urals. They are: the 1905 Square, a traditional place of the revolutionary demonstrations of the working people, the rocks "Kamenniye Palatki", a memorial park now, which was the place of illegal meetings of Ekaterinburg workers, the Opera House where the Soviet power was proclaimed in November 8, 1917 and many others.

Ekaterinburg is closely connected with the life and activities of many famous people. Here Y.M. Sverdlov, the leader of the Urals Party organization before the Revolution and the first President of the Soviet state, carried out his revolutionary work. In 1924 Ekaterinburg was renamed in his memory.

The name of such a famous scientist and inventor of the radio as Popov, and the names of such writers as Mamin-Sibiriyak and Bazhov are also connected with Ekaterinburg.

After the October Socialist Revolution the town has changed beyond recognition. It grew quickly in the years of the first five-year plan periods. Nowadays our city is constantly growing and

developing. Modern Ekaterinburg is a city of wide straight streets, multistoried blocks of flats, big shops, beautiful palaces of culture, cinemas, fine parks and squares.

The centre of the city is 1905 Square with the monument to V.I. Lenin and the building of the City Soviet. The main street is Lenin Avenue. The total area of the city is over 400 sq. km. The population is about two million.

In connection with its 250th anniversary and for its outstanding achievements in the development of the national economy of our country Ekaterinburg was awarded the Order of Lenin.

Ekaterinburg – a Center of Science & Education

Ekaterinburg is one of the largest & most important centers of science & education in our country. The city has 15 higher schools. The oldest of them are the Mining & the Polytechnical Institutes, the Urals State University founded in 1920, the Medical & Pedagogical & many others. Ekaterinburg higher schools train specialists for practically all branches of industry, economy, education & science. The city has a student population of about 80 thousand. Besides, there are many secondary and vocational schools and over 50 technical schools (colleges). The oldest of them is the Mining Metallurgical College named after Polzunov, founded in 1847.

Much important scientific research work is carried on in Ekaterinburg. The Urals Branch of Sciences, now called the Urals Scientific Centre (UNZ), was founded in 1932. Its first chairman was the famous Soviet scientist, mineralogist and geochemist A.E. Fersman. UNZ is the main centre of scientific work now. It contains nine institutes which solve the most important theoretical and practical problems in the field of geology, mining, metallurgy, biology, economy and others.

The city has more than 120 research and designing institutions, among them Uralmechanobr, Unipromed, Nipigormash and others. It is worth mentioning that important scientific and research work is also carried on in educational establishments and at the industrial enterprises of the city, such as the Uralmash, Uralelectrotyazmash and others.

Thousands of research workers, among them 5 academicians, 10 Corresponding members of the Russian Academy of Sciences, many Doctors and Masters of Science are engaged in scientific and research work. Ekaterinburg has contributed greatly to the development of Russian science.

Ekaterinburg - a Cultural Centre

Ekaterinburg is not only an industrial and educational, but also a large cultural centre. There is a lot to be seen in the city. There are many theatres, cinemas, museums, clubs, libraries, palaces of culture, the Art Gallery and the Circus in it.

The Art Gallery houses a splendid collection of paintings of Russian and Soviet artists such as Repin, Polenov, Levitan, Perov, Slusarev, Burak, Pimenov and many others. Here you will see one of the world famous collections of metal castings made in Kasli and especially a cast Iron pavilion. It was shown in Paris at the World Exhibition and awarded the Highest Prize.

Ekaterinburg is famous for its theaters. They are the Opera & Ballet House, the Drama Theatre, the Musical Comedy, the Children’s and Puppet Theatres, the Cinema and Concert Hall "Cosmos". The Opera House was built in 1912. Many famous singers such as S. Lemeshev, I. Koslovsky, I. Arkhipova, B. Shtokolov and many others sang in that theatre. Ekaterinburg has a Philharmonic Society, film and television studios, the Urals Russian Folk Choir which is well known both at home and abroad.

There are many museums in the city: the Museum of Local Studies, the Sverdlov Museum, the Museum of Mamin-Sibiriyak, the Bazhov Museum, the Museum of Architecture. But the Urals Geological Museum is the most famous one. It is a real treasure-house of the Urals riches. The museum was opened in 1937.

Ekaterinburg is a green city with its squares, gardens and parks. The largest and the best of the parks is the Central Park of Culture and Rest. The Central Square of the City is the 1905 Square. Besides, there are some others: the Labor Square, one of the oldest of the city, located in front of the House of Trade Unions, the Komsomolskaya Square with the monument to the Urals Komsomol, the Paris Commune Square with the monument to Y.M. Sverdlov.

There are lots of monuments in the city. They are: the monument dedicated to the students and teachers of the Urals Polytechnical Institute who perished in the Great Patriotic War, the monument to the Urals Tank Corps, the monuments to Bazhov, Popov, Ordjonikidze, Malishev and many others.

There are a lot of places of interest in our city. Any visitor who comes to our city is invited to take sightseeing around it. We will be shown the historical places such as the rocks "Kamenniye Palatki", the Pupils' Creation Palace, the Historical Square, the 1905 Square.

There are several memorials to those who gave their lives in the struggle against fascism, the obelisk in the Square of Communards with the eternal flame. Such famous places of interest at the city pond with granite-lined embankment, the Palace of Youth, the lake Shartash, the Uktus Mountains and some others are most popular with the citizens of Ekaterinburg as well as with its visitors.

Ekaterinburg is a city of sports. There are a lot of sports grounds, stadiums, sports halls and a beautiful Palace of Sport in it. Ekaterinburg is often called the Winter Sports Capital. All sorts of important skiing & skating events are held in the Uktus Mountains.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world's largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o'clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don't like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern

monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul's Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It's the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent's Park. The last one is the home of London Zoo.

3.3 Систематизация грамматического материала:

1. Модальные глаголы и их эквиваленты.
2. Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге.
3. Основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь.

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых

		обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Rephrase the following sentences using must, mustn't, needn't, has to or doesn't have to.

1 **You aren't allowed** to park your car in the college car park.

...You mustn't park your car in the college car park...

2 **I strongly advise** you to speak to your parents about your decision.

3 **It isn't necessary** for Emma to attend tomorrow's staff meeting.

4 **Jack is obliged** to wear a suit and a tie at work because the manager says so.

5 **I'm sure** Antonio is from Milan.

6 **It's necessary** for Roger to find a job soon.

7 **It's forbidden** to use mobile phones inside the hospital.

8 Susan **is obliged to** work overtime because her boss says so.

2. Rephrase the following sentences using didn't need to or needn't have done.

1 It wasn't necessary for him to wash the car. It wasn't dirty.

…He didn't need to wash the car…

2 It wasn't necessary for her to buy so many oranges, but she did.

3 It wasn't necessary for us to take an umbrella. It wasn't raining.

4 It wasn't necessary for us to turn on the light. It wasn't dark.

5 It wasn't necessary for him to call me today, but he did.
6 It wasn't necessary for you to make sandwiches for me, but you did.
7 It wasn't necessary for them to make reservations at the restaurant, but they did.

3. Rewrite the sentences using the word in bold.

1 It isn't necessary for Mark to buy new clothes for the reception.
need ...*Mark doesn't need to/needn't buy new clothes for the reception…*
2 You aren't allowed to pick these flowers. **must**
3 Sarah is obliged to type her compositions at university. **has**
4 It wasn't necessary for Paula to make the beds. **need**
5 It is your duty to obey the law. **must**
6 It wasn't necessary for Bob to wait for me, but he did. **need**
7 It is forbidden to throw litter on the beach. **must**
8 I'm sure Ronald is at home. **must**
9 It wasn't necessary for Alice to bake a cake for the party. **need**
10 It wasn't necessary for George to stay at work late last night, but he did. **have**

4. Fill in the gaps with an appropriate modal verb.

1 A: ... *May/Can/Could*... I borrow your pen, please?
B: No, you … .I'm using it.
2 A: I'm bored. What shall we do?
B: We … go for a walk.
A: No, we … because it's raining.
B: Let's watch a video, then.
3 A: My parents told me I … go to the party tonight.
B: Never mind, I … go either. We … stay at home together, though.
4 A: Sir, … .I speak to you for a moment, please?
B: Certainly, but later today; I'm busy now.
5 A: Excuse me?
B: Yes?
A: … you tell me where the post office is, please?
B: Certainly. It's on the main road, next to the school.
6 A: Is anyone sitting on that chair?
B: No, you … take it if you want to.

5. Choose the correct answer.

1 " Todd was a very talented child.'
I know. He ..*B*... play the piano well when he was seven.'
A couldn't B could C can
2 I've just taken a loaf out of the oven.
Oh, that's why I … smell fresh bread when I came home.
A was able to B can't C could
3 'How was the test?'
Easy. All the children … pass it.'
A were able to B could C can't
4 What are you doing this summer?'
'I hope I'll … go on holiday with my friends.'
A could B be able to C can

6 Rewrite the sentences using the words in bold.

1 Do you mind if I leave the door open for a while?
can ...*Can I leave the door open for a while?*...

2 You're obliged to take notes during the lecture. **have**
3 I'm sorry, but you aren't allowed to enter this room. **must**
4 Jack managed to unlock the door. **able**
5 It wasn't necessary for Ann to cook dinner, but she did. **need**
6 Let's play a game of chess. **could**
7 I'm certain Sarah is bored with her work. **must**
8 I strongly advise you to take up sport. **must**
9 I'm certain Liz isn't interested in your ideas. **can**
10 You may take the car tonight if you want. **can**

7. Study the situations and respond to each one using an appropriate modal verb.

1 You want to go on holiday with your friends this year. Ask your parents for **permission.**
...Can I go on holiday with my friends this year?...
2 You are at a job interview. You type fast, you use computers and you speak two foreign languages. Tell the interviewer about your **abilities**.
3 Your brother is trying to decide what to buy your mother for her birthday. You **suggest** a box of chocolates.
4 Your jacket is dirty and you want to wear it next week. It is **necessary** to take it to the dry cleaner's.
5 You want to have a day off work next week. Ask for your boss' **permission.**
6 You are in the car with your uncle. It's hot and you want him to open the window. Make a **request.**
7 Your mother is going to the shops. She asks you if you want anything. You tell her it **isn't necessary** to get anything for you.

8. Complete the sentences using must or can't.

1 I'm certain they go to bed early on Sunday nights. They …*must go to bed early on Sunday nights…*
2 I'm sure John didn't stay late at the office. John ...*can't have stayed late at the office…*
3 I'm certain he hasn't arrived yet. He …
4 I'm certain they are working together. They …
5 I'm sure Amy hasn't finished her homework. Amy …
6 I'm certain she was having a bath when I rang. She …
7 I'm sure he hasn't won the prize. He …
8 I'm sure she is looking for a new house. She …
9 I'm certain Paul didn't invite Linda to the party. Paul …
10 I'm certain you have been planning the project. You …
11 I'm sure she was writing a letter. She …
12 I'm certain they hadn't paid the bill. They …
13 I'm sure he had been fixing the pipe. He …

9. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps Laura has left the phone off the hook. ...*Laura may/might/could have left the phone off the hook…*
2 Surgeons are obliged to scrub their hands before operating on patients.
3 Do you mind if I open the window?
4 It wasn't necessary for Peter to wash the dog, so he didn't.
5 Emily managed to reach the top shelf, even though she didn't have a ladder.
6 It's forbidden to copy files without the manager's permission.
7 Why don't we spend this evening at home?
8 I'm certain Patrick misunderstood my instructions.
9 I'm sure Helen didn't know about her surprise party.

10. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps they are at work.

They ...*may/might/could be at work*…

2 Perhaps he is waiting outside. He …

3 It's possible she will work late tonight. She …

4 It's likely he was driving too fast. He …

5 It's possible they made a mistake. They …

6 Perhaps he has missed the bus. He …

7 It's possible she has been playing in the snow. She …

8 It's likely we will be leaving tomorrow. We …

9 It's likely he will stay there. He …

10 Perhaps she had been trying to call you. She …

11 It's likely they had seen the film already. They …

12 It's possible he is studying in the library. He …

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)

This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)

Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)

Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.

My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.

to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.

to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:

Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.

б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить

to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять

to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить

to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать

to teach учить to tell сказать и др.

Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.

Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)

A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:

John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.

The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):

He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать

to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать

to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:

He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:

The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:

The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:

The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)

The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:

The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:

The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:

He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:

I am invited to a party.

Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):

Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.

Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.

I was told that you’re ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):

They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:

The experiments were made last year.

1) Опыты были проведены в прошлом году.

2) Опыты проводились в прошлом году.

3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:

It is said… Говорят… It was said… Говорили…

It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…

It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. What happens to a car when it is taken for a service? Look at the prompts and make sentences using the present simple passive, as in the example.

1. the oil / change

The oil is changed.

2. the brakes / test
3. the filters / replace
4. air / put / in the tyres
5. the battery / check

6. the lights / test
7. broken parts / repair
8. it / take / for a test drive
9. the radiator / fill / with water

2. Mr Sullivan, who is a director, is preparing a scene for his new film. Read the orders and respond using the present continuous passive, as in the example.

1. Move that scenery, please.
It's being moved now, Mr Sullivan.
2. Put those props in place, please.
3. Call the actors, please.
4. Check their costumes, please.
5. Turn on the lights, please.

3. Detective Maguire is talking to a police officer about a burglary which happened early yesterday morning. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example

1. Have you dusted the house for fingerprints yet?
the house / dust / for fingerprints yesterday
Yes, the house was dusted for fingerprints yesterday.
2. Have you found any evidence yet?
a piece of material / find / this morning
3. Have you interviewed the house owners yet?
they / interview / last night
4. Have you questioned the neighbours yet?
they / question / this morning
5. Have you arrested any suspects yet?
two men / arrest / yesterday evening
6. Have you interrogated the suspects yet?
they / interrogate / last night
7. Have you recovered the stolen goods yet?
they / recover / this morning
8. Have you written your report yet?
it / complete / an hour ago

4. Helen and Chris moved house two years ago. Yesterday, they drove past their old house and saw that it looked very different. Describe the changes using the present perfect simple passive, as in the example.

1. the outside walls / paint
The outside walls have been painted.
2. new windows / put in
3. a garden pond / make
4. the trees / cut down
5. a lot of flowers / plant
6. the old gate / replace

5. A young actress is hoping to star in a new film. Her friend is asking her what is going to happen. Respond to her questions using the passive infinitive, as in the example.

1. Will they audition you for the new film?
Well, I hope to be auditioned.
2. Will they give you a leading role?
3. Will they pay you a lot of money?
4. Will they send you to Hollywood?

5. Will they introduce you to all the stars?
6. Will they ask you to give a TV interview?
7. Will they give you an award?

6. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

1. A: Who looks after your garden for you?
B: It ...*is looked after*... (look after) by my brother.
2. A: That's a beautiful dress. Where did you buy it?
B: Actually, it … (make) for me by my aunt.
3. A: Have you typed that letter yet, Miss Brown?
B: It … (type) right now, sir.
4. A: Did you make the coffee when you got to work this morning?
B: No, it …. (already/make) by the time I got there.
5. A: Are you going to pick up the children today?
B: No, they … (pick up) by Roger. I've already arranged it.
6. A: Where is your watch?
B: I broke it. It … (repair) at the moment.
7. A: Has the new furniture for my bedroom arrived?
B: No, it … (not/deliver) yet.
8. A: They are building a new sports centre in town.
B: I know. It … (open) by the mayor next month.

7. Rewrite the sentences in the passive, where possible.

1. John opened the door.
...*The door was opened by John.*
2. They didn't come home late last night.
...*It cannot be changed.*
3. Their nanny takes them to the park every day.
4. I left very early yesterday afternoon.
5. Meg asked the policeman for directions.
6. Charles is moving house next month.
7. The letter arrived two days ago.
8. Sam took these photographs.

8. Fill in by or with.

1. The lock was broken ...*with*... a hammer.
2. This book was written … my favourite author.
3. The cake was decorated… icing.
4. The tiger was shot … a gun.
5. Claire was shouted at … her teacher.
6. He was hit on the head … an umbrella.

9. Rewrite the sentences in the passive.

1. Someone is repairing the garden fence.
...*The garden fence is being repaired*....
2. Do they teach Latin at this school?
3. I don't like people pointing at me.
4. She hit him on the head with a tennis racquet.
5. Michael has made the preparations.
6. Is Tim cleaning the house?
7. Who built the Pyramids?
8. The boss is going to give us a pay rise.

9. I expect they will deliver my new car soon.
10. The police are questioning the suspects.
11. Did your next door neighbours see the thieves?
12. Paul remembers his teacher asking him to star in the school play.
13. A lot of children use computers nowadays.
14. Who smashed the kitchen window?
15. They won't have completed the work by the end of the month.
16. The children will post the letters.
17. People make wine from grapes.
18. Had Helen closed the windows before she left the house?
19. Jill hasn't done the housework yet.
20. They may not deliver the parcel today.

10. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

A: Do you still work at Browns and Co?
B: Yes, I do. I 1) ...*have been employed*... (employ) by Mr Brown for five years now, you know.
A: Oh. Do you still enjoy it?
B: Oh yes! I 2) … (give) a promotion last year and I'm very happy.
A: A promotion? So, what is your job now?
B: I 3) … (make) Head of European Sales.
A: So, what do you do?
B: Well, sometimes I 4) … (send) to other countries on business.
A: I see. Do they pay you well?
B: Well, I 5) … (pay) quite well and I expect I 6) … (give) a pay rise soon.
A: Good for you!

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.

Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with the correct pronoun or possessive adjective.

1. James said, 'My boss wants me to go to London tomorrow.'
James said ...*his*... boss wanted to go to London the following day.
2. Mary said, 'I'm waiting for my son to come out of school.'
Mary said that … was waiting for … son to come out of school.
3. George said, 'I've bought a new car for my mum.'
George said … had bought a new car for … mum.
4. Julie said to me, 'I need you to help me with the shopping.'
Julie told me that … needed … to help … with the shopping.
5. John said, 'I'd like to take you out to dinner.'
John said … 'd like to take … out to dinner.
6. Helen said to Jane, 'I think your new haircut is lovely.'
Helen told Jane that … thought … new haircut was lovely.

2. Turn the following sentences into reported speech.

1. Robin said, These biscuits taste delicious.' ...
Robin said (that) the biscuits tasted delicious....

2. “I can't see you this afternoon because I've got a lot to do,' Ann told me.
3. She came into the room holding some letters in her hand and said, 'I found these while I was tidying the desk drawers.'
4. Fiona said, That picture was painted by my great-grandfather.'
5. “Those were good times for my family,' Jack said.
6. 'I received a parcel this morning, but I haven't opened it yet,' Tom said.
7. "You mustn't do that again,' Mum said to Bob.
8. “These shoes are worn out. You'd better throw them away,' Mum said to me.

3. Turn the following sentences into reported speech.

1 He said, 'I'm going to the station.'

...He said (that) he was going to the station....

2 Tina said, 'You should exercise regularly.'
3 They said, 'We had booked the room before we left.'
4 Tom said, This meal is delicious.'
5 'I've written you a letter,' she said to her friend.
6 'We've decided to spend our holidays in Jordan,' they told us.
7 Jill said, “I’ll go to the bank tomorrow.'
8 She said to him, 'We've been invited to a wedding.'
9 She told me, 'You must leave early tomorrow.'
10 They've gone out for the evening,' Jessie said to me.
11 They said, 'We may visit Joe tonight.'
12 She said, 'I can meet you on Tuesday.'
13 Keith said, There is a letter for you on the table.'
14 'We won't be visiting Tom this evening,' Sam told us.
15 Eric said, They had been talking on the phone for an hour before I interrupted them.'
16 'I haven't spoken to Mary since last week,' Gloria said.
17 They delivered the letters this morning,' she said.
18 He said, 'I'd like to buy this jumper.'
19 They aren't going on holiday this year,' he said.
20 Jane said, 'I haven't finished my homework yet.'
21 'I'm going to bed early tonight,' Caroline said.
22 'My mother is coming to visit us,' I said.
23 'We don't want to watch a film tonight,' the children said.
24 'He's playing in the garden now,' his mother said.
25 She said, 'You must do your homework now.'

4. Turn the sentences into reported speech. In which of the following sentences do the tenses not change? In which do they not have to be changed? Why?

1 The article says, “The artist only uses oil paints.'

...The article says (that) the artist only uses oil paints....

... The tenses do not change because the introductory verb is in the present simple....

2 'They are working hard today,' he said.
3 'I've done the things you asked me to do,' Mary said.
4 The sun rises in the east,' she said.
5 'He broke the window,' they said.
6 'We've never been on holiday abroad,' they said.
7 Mum says, 'Dinner is ready.'
8 “I’ll start cooking at six o'clock,' she said.
9 'We went to the supermarket yesterday,' he said.
10 Mrs Jones says, 'My daughter is going to have a baby.'
11 'You're never going to get a job,' Dad always says.

12 'Fish live in water,' he said.
13 'We went to the beach last weekend,' they said.
14 'He showed me his photographs,' she said.
15 'I'm working on my project now,' Billy said.

5. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Seaweed grows in the sea,' the teacher said to the students.

...The teacher said to the students/told the students (that) seaweed grows/grew in the sea....

2 'I saw Amanda at the cinema,' she said, (up-to-date reporting)
3 They don't live here any more,' he said to me. (out-of-date reporting)
4 "Canada is a large country,' he said.
5 The Statue of Liberty is in America,' she said to us
6 “I’ll help you with your homework,' he said, (out-of-date reporting)
7 'I would go on holiday if I had enough money,' Bill said, (up-to-date reporting)
8 'If I'm free, I'll call you,' Tom said, (up-to-date reporting)
9 'You should make a decision,' he said to us.
10 'You can ask John for advice,' she said, (up-to-date reporting)

6. Turn the following into reported questions.

1 'Where do you live?' I asked her.

...I asked her where she lived....

2 'How old will you be on your next birthday?" he asked me.
3 'Where is your umbrella?' she asked her daughter.
4 'Do you like playing football?' John asked us.
5 The boss asked, 'What time are you going home today?'
6 'Will you take the children to school today?' he asked.
7 'Who called you today?' she asked.
8 'When will you decorate the kitchen?' Martha asked.
9 'Who broke my vase?' I asked.
10 Father asked, 'Will you help me lift these boxes, please?'
11 'Can you speak a foreign language?' she asked her.
12 'Where is the tourist information centre?' we asked.

7. Yesterday, Marion met a couple who were on holiday in London. They were looking at a map. She asked them some questions. Turn them into reported questions.

1 'Are you lost?'

...Marion asked them if/whether they were lost....

2 'Can you speak English?'
3 'Where are you from?'
4 'Is your hotel near here?'
5 'Where do you want to go?'
6 'Were you looking for Big Ben?'
7 'Have you been to the British Museum?'
8 'Have you visited Buckingham Palace?'
9 'Do you like London?'

8. Fill in the gaps with the introductory verbs in the list in the correct form.

order, tell, ask, beg, suggest

1 'Please visit me in hospital,' Joan said to Colin.

Joan ...*asked*... Colin to visit her in hospital.

2 'Let's eat out this evening,' Paul said to her.

Paul … eating out that evening.

3 'Please, please be careful,' she said to him.
She … him to be careful.
4 'Don't go near the fire,' Dad said to us.
Dad … us not to go near the fire.
5 'Be quiet!' the commander said to the troops.
The commander … the troops to be quiet

9. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Let's try the exercise again.'
The ballet teacher suggested trying the exercise again.
2 'Lift your leg higher please, Rachel.'
3 'Turn your head a little more.'
4 'Don't lean back.'

10. Turn the following sentences into reported speech.

1 The doctor said to the patient, 'Come back to see me again next week.'
... The doctor told the patient to go back and see him again the following week/the week after.
2 The guard said to the driver, 'Stop!'
3 He said, 'Shall we go for a walk?'
4 She said to him, 'Please, please don't leave me!'
5 Jenny said to Dave, 'Please help me with this
6 She said to him, 'Open the window, please.'
7 Mother said, 'How about going for a drive?'
8 She said, 'Let's eat now.'

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность)

Тематика общения:

1. Избранное направление профессиональной деятельности.

4.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing** – *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость

heat - v нагревать; *n* теплота

liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss** - *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v **(broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive** - *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader** - *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader** - комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing** - *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper** - *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping** - *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(рудЫ)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

4.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.
2. Petrology which studies the rocks of the Earth.
3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.
4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.
5. Historic Geology which treats of the Earth's history.
6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.
7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

4.3 Систематизация грамматического материала:

1. Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий.
2. Основные сведения о сослагательном наклонении.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать
to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть

Например:
He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.

Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая
having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),

keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I'm tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Complete the sentences with the correct infinitive tense.

1 She has grown taller. She seems *...to have grown taller*.
2 He is getting used to his new job. He appears
3 Kate makes friends easily. She tends
4 He has finished the report. He claims
5 It is raining over there. It seems
6 He is on a diet. He appears
7 They have sailed round the world. They claim
8 She is feeling better. She seems

2. Fill in the correct infinitive tense.

1 A: What would you like *...to do...* (do) tonight?
B: Let's … (go) to an Italian restaurant.
2 A: What's Liz doing?
B: She seems … (look) for something in her bag.
3 A: Alan has been offered a new job!
B: No, he hasn't. He just pretended … (offer) a new job.
4 A: Colin claims … (meet) lots of famous people.
B: I know, but I don't believe him.
5 A: Look at those two men outside. What are they doing?
B: They appear … (empty) the rubbish bins.
6 A: Would you like to go to the cinema tonight?
B: Not really. I would prefer … (go) to the theatre.
7 A: Tara seems … (work) hard all morning.
B: Yes, she hasn't even stopped for a cup of coffee.
8 A: Why is Tom at work so early this morning?
B: He wants … (finish) early so that he can go to the concert tonight.

3. Rephrase the following sentences, as in the example.

1 He must wash the car. I want *...him to wash the car...*
2 You mustn't be late for work. I don't want …
3 Claire must tidy her bedroom. I want …

4 She mustn't go to the disco. I don't want …
5 They must go to school tomorrow. I want …
6 Gary mustn't make so much noise. I don't want …
7 You mustn't make a mess. I don't want …
8 He must mend his bike. I want …

4. Complete the sentences with too or enough and the adjective in brackets.

1 A: Would you like to come to the disco?
B: Oh no. I'm ...*too tired*... to go to a disco, (tired)
2 A: Can you reach that top shelf?
B: No, I'm not … to reach it. (tall)
3 A: Did they go on a picnic yesterday?
B: No. It was … to go on a picnic, (cold)
4 A: Did Jane enjoy the horror film?
B: No. She was … to enjoy it. (scared)
5 A: Does Tom go to school?
B: No. He isn't … to go to school yet. (old)
6 A: Will you go to London by bus?
B: No. The bus is … . I'll take the train, (slow)
7 A: Did she like the dress you bought?
B: Yes, but it was … .(big)
8 A: Take a photograph of me!
B: I can't. It isn't … in here, (bright)

5. Rewrite the sentences using too.

1 This music is so slow that I can't dance to it.
...This music, is too slow for me to dance to…
2 The bird is so weak that it can't fly.
3 She's so busy that she can't come out with us.
4 The car was so expensive that he couldn't buy it.
5 These shoes are so small that they don't fit me.
6 The book is so boring that she can't read it.
7 I was so tired that I couldn't keep my eyes open.
8 The coffee was so strong that he couldn't drink it.

6. Underline the correct preposition and fill in the gaps with the -ing form of the verb in brackets.

1 He is ill. He is complaining **with/<u>about</u>** ...*having*... (have) a headache.
2 Marcus went out instead **for/of** … (do) his homework.
3 Tracy was very excited **with/about** … (go) to the party.
4 I hope you have a good excuse **of/for** … (be) so late.
5 Sam is interested **in/for** … (take up)French lessons.
6 You can't stop him **to/from** … (take)the job if he wants to.
7 Susie ran because she was worried **about/of** … (miss) the bus.
8 Thank you **to/for** … (help) me with my homework.
9 She felt tired because she wasn't used **to/with** … (work) so hard.
10 His boss blamed him **for/of** … (lose) the deal.
11 I am in charge **in/of** … (make) the Christmas deliveries.
12 We are thinking **of/from** … (buy) a new car next month.
13 Sandra apologised **for/about** … (ruin) the performance.
14 Ian was talking **with/about** … (open) a shop in York.

7. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 It's no use ...*talking*… (talk) to Bob; he won't change his mind.
2 She will … (return) the books next weekend.
3 It was good of you … (help) me fix my bicycle.
4 The man suggested … (call) the police in, to investigate.
5 I can't get used to … (live) in such a hot country.
6 He admitted … (rob) the bank.
7 You had better … (hurry), or you'll be late for work.
8 They refused … (give) me my money back.
9 She is too short … (become) a fashion model.
10 My parents let me … (stay) up late at weekends.
11 Our teacher makes us … (do) homework every evening.
12 The kitchen windows need … (clean).
13 They have begun … (make) preparations for the party.
14 He advised her … (speak) to her boss.
15 I dislike … (go) to the theatre alone.
16 Mr. Roberts was seen … (leave) his house at 12:15 last night.
17 My sister can't stand … (watch) horror films. She gets terribly scared.
18 Can you imagine … (spend) your holidays on the moon?
19 There's no point in … (call) again. There's no one at home.
20 I don't allow people … (smoke) in my house.
21 It was silly of you … (forget) to lock the door.
22 He risks … (lose) his wallet when he leaves it on his desk.

8. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 A: Is Anne in the room?
B: Yes. I can see her ...dancing... (dance) with her husband over there.
2 A: Did you see the robber?
B: Yes. I saw him … (get) into the car and drive away.
3 A: Is John here today?
B: Yes. I heard him … (talk) on the phone as I walked past his office.
4 A: Colin is good at speaking in public, isn't he?
B: Yes. I heard him … (make) a speech last month. It was excellent.
5 A: I walked past the sports centre today.
B: So did I, and I stopped for a moment to watch some boys … (play) football.
6 A: Your hair looks great today.
B: Thanks. I watched the hairdresser … (dry) it so I could learn how to do it myself.
7 A: That's a music school, isn't it?
B: That's right. I often hear the students … (sing) as I walk past.
8 A: Did you stay until the end of the contest?
B: Yes. I listened to the chairman … (announce) the results before I went home.
9 A: How do you know Tim is at home?
B: I saw him … (cut) the grass as I was driving home.
10 A: How do you know that man stole the watch?
B: I saw him … (put) it in his pocket and leave the shop without paying.

9. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 I'll never forget ...*sailing*... (sail) down the Danube on that warm spring night last year.
2 Please don't forget … (pay) the bill.
3 John said he remembers … (buy) the newspaper, but now he can't find it.
4 Did you remember … (post) my letters today?
5 Gloria regrets … (shout) at her sister.
6 I regret … (inform) you that we cannot give you your money back.

7 The students went on … (write) for another hour.
8 After cleaning the windows, he went on … (wash) the car.
9 We are sorry … (announce) that the 7:15 train to Liverpool has been cancelled.
10 I'm sorry for … (miss) your birth day party; I'll make it up to you.
11 She stopped … (go) to the gym after she had got back into shape.
12 They stopped … (have) a rest before they continued their journey.
13 They tried … (open) the door, but it was stuck.
14 You should try … (make) your own clothes. It's much cheaper.
15 I'm sorry. I didn't mean … (break) your vase.
16 Being a teacher means … (correct) a lot of homework.
17 I like … (tidy) my room at week ends because I don't have time during the week.
18 They like … (play) in the sea on hot days.

10. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

My neighbour, Mr. Mason, loves 1) …*spending*… (spend) time in his garden. He would rather 2) … (work) outside than stay indoors, even when it is snowing! Early in the morning, you can 3) … (see) Mr. Mason 4) … (eat) breakfast in his garden, and late at night he is there again, with a cup of cocoa in his hand. I'd like 5) … (help) sometimes when there is lots of work to do, but Mr. Mason prefers 6) … (do) everything himself. He doesn't mind 7) … (get) cold and wet in the winter, and his wife says it's no use 8) … (try) to make him wear a waterproof jacket because he hates 9) … (wear) them! Mr. Mason says he will go on 10) … (garden) until he is too old 11) … (do) it!

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary

			to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Look at the prompts and make Type 1 conditional sentences, as in the example.
e.g. If we cut down all the forests, the world's climate will change.
1 cut down/ all forests / world's climate / change
2 not stop/use / aerosols /destroy / ozone layer
3 find / alternative sources of energy / solve / some of our environmental problems
4 temperatures / go up / by a few degrees /sea levels / rise
5 recycle / waste / save / natural resources
6 population / continue to increase / not be enough food for everyone

2. Lisa is trying to decide where to go on holiday. She would like to go to one of these places. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.
A) SPAIN FOR A WEEK
£180 Inclusive!!
2-star hotel beach
Free water sports

B) A TWO WEEK CAMPING HOLIDAY IN THE SOUTH OF FRANCE
ONLY £280 per person
Self-catering

1. How long / be away / choose / Spain?
SA: How long will she be away if she chooses Spain?
SB: If she chooses Spain, she'll be away for a week.
2. Where / go / like / camping?
3. How much / pay / go to / France?
4. What / do / go to / Spain?
5. Where / go / want / cheap holiday?

3. Study the situations, then make Type 2 conditional sentences, as in the example.
I don't have a car, so I have to wait for the bus every day.
1. If I ...had... (have) a car, I ...wouldn't have to... (not/have to) wait for the bus every day.
I never do my homework, so my teacher always gets angry with me.
2. If I … (do) my homework, my teacher … (not/get) angry with me.
I live in a small house, so I can't invite friends over.
3. If I … (live) in a bigger house, I … (be able to) invite friends over.
I never get up early, so I y am always late for school.
4. If I … (get up) earlier, I … (not/be) late for school.

4. Complete the sentences to make Type 3 conditional sentences, as in the example.
1. If he ...hadn't noticed... (not/notice) the mould in one of his glass dishes, Alexander Fleming ...would never have discovered... (never/discover) penicillin.
2. If he … (sell) some of his paintings, Van Gogh … (get) some recognition during his lifetime.
3. If Barbara Streisand … (change) the shape of her nose, her career … (never/be) the same.
4. If Anne Sullivan … (not/teach) her, Helen Keller … (not/be able to) communicate.
5. If Naomi Campbell … (not/be) so beautiful, she … (never/become) a supermodel.

5. Read the story below and make Type 3 conditional sentences, as in the example.
e.g. 1) ...if Sally hadn't been in a hurry, she would nave left some important notes at home....
Sally had a terrible day yesterday. She was in a hurry, so she left some important notes at home. She wasn't prepared for her meeting with a new client, so the meeting was a disaster. The client was

disappointed, and as a result he refused to do business with the company. The boss shouted at Sally, so she got upset.

6. Match the items in column A with those in column B in order to make correct Type 0 conditional sentences, as in the example.

e.g. 1 - c ...if you add sugar to a cup of coffee, the coffee tastes sweeter...

A

1. Add sugar to a cup of coffee.
2. Throw salt onto snow.
3. Put an apple in a bowl of water.
4. Water plants regularly.
5. Lie in the sun too long.
6. Take regular exercise.

B

a The apple floats.
b Your skin turns red.
c The coffee tastes sweeter.
d You feel healthy.
e The plants grow.
f The snow melts.

7. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What time will you be home tonight?
B: I'm not sure. If I ...have to... (have to) work late. I ...'ll call... (call) you.
2 A: I felt very tired at work today.
B: Well, if you … (not/watch) the late film, you … (not/feel) so tired
3 A: Should I buy that car?
B: Why not? If I … (have) the money, I … (buy) it myself.
4 A: If you … (pass) a chemist's, … (you/get) me some cough medicine?
B: Yes, certainly.
5 A: My sister seems very upset at the moment.
B: Were I you, I … (talk) to her about it.
6 A: Unless you … (hurry), you … (be) late again.
B: No, I won't. There's plenty of time.
7 A: Oh! I forgot to ask Sarah over for dinner.
B: If I … (speak) to her today, I … (ask) her for you.
8 A: May I join the club, please?
B: Provided you … (be) over eighteen, you can join the club.
9 A: What a lovely restaurant! I'm glad we came here.
B: If you … (not/burn) the dinner, we … (not/come) here!
10 A: Just think. If I … (not/move) to York, I … (never/meet) you.
B: I know, wasn't it lucky?
11 A: Jo doesn't spend enough time with me.
B: Well, if she … (have) the time, I'm sure she … (try), but she's very busy.
12 A: Did you give Bill the message?
B: No, but when I … (see) him, I … (tell) him the news.

8. Choose the correct answer.

1 'If you ...C... that plate, you'll burn your fingers.'

'Why? Has it been in the oven?'
A would touch
B will touch
C touch
2 ‘ … you're busy, we'll talk now.'
‘That's fine. I'm not busy at the moment.'
A If
B Provided
C Unless
3 'If you watch the news, you … a lot.'
'I know. I watch it every day.'
A learn
B were learning
C would learn
4 '… you wear warm clothes, you won't get cold.'
'I'll wear an extra jumper.'
A Unless
B Providing
C Supposing
5 'Shall I invite John to the party?'
'Well, were I you, I … him.'
A would invite
B will invite
C am inviting
6 '… the teacher comes back now, what will you do?'
'I don't know.'
A When
B Providing
C Supposing
7 'Could I see the menu, please?'
'Yes, sir. If you … a seat, I will fetch it for you.'
A take
B had taken
C have taken
8 'Don't cry. Everything will be alright.'
'Yes, but if I … the bus, I wouldn't have been late for school.'
A didn't miss
B hadn't missed
C don't miss
9 'When water boils, it … steam.'
'Yes, I know; and the steam is hot, too.'
A would produce
B produce
C produces
10 'Can you help me, please?'
'Well, if I wasn't studying, I … you.'
A would help
B help
C will help
11 'John crashed his car yesterday.'
'I know, but if he hadn't been changing the cassette, he …'
A won't crash

B wouldn't crash
C wouldn't have crashed
12 'Can I have some chocolate, please?'
'If you behave yourself, I you some later.'
A would buy
B might buy
C buy
13 'Should you see Colin … and tell me.'
'I will.'
A come
B to come
C will come
14 'If we were rich, we … expensive clothes.'
'Well, unfortunately we aren't rich!'
A could afford
B can afford
C afford

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 If I ...were... (be) you, I wouldn't drive in the snow.
2 Peter … (be able to) help you if he was here.
3 If I had closed the window, the cat … (not/jump) out.
4 I … (call) for help if I got stuck in a lift.
5 Had I known him, I … (talk) to him.
6 John … (may/lose) his job if he is rude to the boss.
7 If you … (save) some money, you would have been able to go on holiday last year.
8 You may win if you … (take) part in the contest.
9 If I had toothache, I … (go) to the dentist.
10 They would have helped us move house if we … (ask) them.
11 If Jane … (be) older, she could live by herself.
12 We would have changed our plans if we … (hear) the weather forecast.
13 Emma … (send) a card if she had remembered it was their anniversary.
14 Robert … (feel) better if you talked to him.
15 If Sam was still living nearby, you … (can/invite) him for dinner.
16 If you … (put) your money in your wallet, you will not lose it.
17 If you … (like) chocolate, you will love this cake.
18 If Bill … (come) home early, he will eat dinner with us.
19 Sandra will join us later unless she … (have) a lot of work to do.

10. Fill in the gaps using when or if.

1 A: Have you phoned Paul yet?
B: No, I'll phone him ...when... I get home.
2 A: … I get a new job soon, I may have a party.
B: That's a good idea.
3 A: I really liked that dress we saw.
B: Well, you can buy it … you get paid.
4 A: Shall we go somewhere this weekend?
B: Yes … it's sunny, we could go to the beach.
5 A: Did you make this cake yourself?
B: Yes … you like it, I'll give you the recipe.
6 A: Is Jane still asleep?
B: Yes … she wakes up, I'll tell her you're here.

7 A: Have you done your homework?
B: No. I'll do it … we've finished dinner.
8 A: We've run out of milk.
B: Well, … I go to the shops, I'll buy some more.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине
Б1.Б.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки:
15.03.01 Машиностроение

Профиль
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Иностранных языков и деловой коммуникации	горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.	к.т.н., доцент Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 15.05.2018	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....4
Выполнение работы над ошибками……...…12
Критерии оценивания контрольной работы ……12
Образец титульного листа ……..…13

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: повышение исходного уровня владения иностранным языком, достигнутого на предыдущей ступени образования, и достижение уровня иноязычной коммуникативной компетенции достаточного для общения в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах, а также для дальнейшего самообразования.

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

общекультурные:

- способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-5).

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- владение иностранным языком как средством коммуникации в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах;
- развитие когнитивных и исследовательских умений с использованием ресурсов на иностранном языке;
- развитие информационной культуры;
- расширение кругозора и повышение общей гуманитарной культуры студентов;
- воспитание толерантности и уважения к духовным ценностям разных стран и народов.

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности *15.03.01 Машиностроение.*

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.Б.03 Иностранный язык. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- особенности фонетического строя иностранного языка;
- лексические единицы социально-бытовой и академической тематики, основы терминосистемы соответствующего направления подготовки;
- основные правила грамматической системы иностранного языка;
- особенности построения устных высказываний и письменных текстов разных стилей речи;
- правила речевого этикета в соответствии с ситуациями межличностного и межкультурного общения в социально-бытовой, академической и деловой сферах;
- основную страноведческую информацию о странах изучаемого языка;
- лексико-грамматические явления иностранного языка профессиональной сферы для решения задач профессиональной деятельности;

Уметь:

- вести диалог/полилог и строить монологическое высказывание в пределах изученных тем;
- понимать на слух иноязычные тексты монологического и диалогического характера с различной степенью понимания в зависимости от коммуникативной задачи;
- читать аутентичные тексты прагматического, публицистического, художественного и научного характера с целью получения значимой информации;
- передавать основное содержание прослушанного/прочитанного текста;
- записывать тезисы устного сообщения, писать эссе по изученной тематике, составлять аннотации текстов, вести личную и деловую переписку;
- использовать компенсаторные умения в процессе общения на иностранном языке;

- пользоваться иностранным языком в устной и письменной формах, как средством профессионального общения;

Владеть:

- основными приёмами организации самостоятельной работы с языковым материалом с использованием учебной и справочной литературы, электронных ресурсов;
- навыками выполнения проектных заданий на иностранном языке в соответствии с уровнем языковой подготовки;
- умением применять полученные знания иностранного языка в своей будущей профессиональной деятельности.

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «Иностранный язык (английский)» представлено три варианта контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке. Например, студенты, у которых фамилии начинаются с букв А, выполняют контрольную работу № 1 и т.д. (см. таблицу №1).

Таблица №1

начальная буква фамилии студента	***№ варианта контрольной работы***
А, Г, Ж, К, Н, Р, У, Ц, Щ	№1
Б, Д, З, Л, О, С, Ф, Ч, Э, Я	№2
В, Е, И, М, П, Т, Х, Ш, Ю	№3

Содержание контрольной работы №1

Контрольная работа проводится по теме *1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)* и *теме 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)* и направлена на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Контрольная работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №2:

Таблица №2

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435
Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК

Вариант №1

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Michael _____ everyone he meets because he is very sociable and easygoing. He has five brothers and two sisters, so that probably helped him learn how to deal with people.

A. gets divorced; **B. gets along well with;** C. gets married;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Заполните пропуски местоимениями some, any, no или их производными.

Пример: A: Is ***anything*** the matter with Dawn? She looks upset.

B: She had an argument with her friend today.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неопределённые местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски личными местоимениями (I, we, you, he, she, it, they, me, us, him, her, them).

Пример: My teacher is very nice. I like … . – I like **him**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «личные и притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках, обращая при этом внимание на использованные в предложениях маркеры.

Пример: Every morning George **eats** (to eat) cereals, and his wife only **drinks** (to drink) a cup of coffee.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Paul was tired when he got home. – ***Was Paul tired when he got home? Yes, he was.***

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант №2

Задание 1. Заполните пропуск, выбрав один вариант ответа.

Пример: A British university year is divided into three _____.

1) conferences; 2) sessions; **3) terms**; 4) periods;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите правильную форму глагола.

Пример: A: I have a Physics exam tomorrow.

B: Oh dear. Physics **is/**are a very difficult subject.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя существительное, функции и спряжение глаголов to be и to have».

Задание 3. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Continuous, Past Continuous или Future Continuous.

Пример: I **shall be studying** (study) Japanese online from 5 till 6 tomorrow evening.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 4. Составьте вопросы к словам, выделенным жирным шрифтом.

Пример: **The Petersons** have bought a dog. – *Who has bought a dog?*

The Petersons have bought **a dog. –** *What have the Petersons bought?*

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Задание 5. Подчеркните правильный вариант ответа.

Пример: A: You haven't seen my bag anywhere, haven't you**/<u>have you</u>**?

B: No. You didn't leave it in the car, **<u>did you</u>**/didn't you?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант № 3

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: The University accepts around 2000 new ____ every year.

1) students; 2) teachers; 3) pupils; 4) groups;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Поставьте в предложения подходящие по смыслу фразы:

as red as a beet (свекла), as slow as a turtle, as sweet as honey, as busy as a bee, as clumsy as a bear (неуклюжий), as black as coal, as cold as ice, as slippery as an eel (изворотливый как угорь), as free as a bird, as smooth as silk (гладкий)

Пример: Your friend is so unemotional, he is **as cold as ice**.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя прилагательное и наречие».

Задание 3. Переведите следующие предложения на английский язык.

Пример: Это самая ценная картина в Русском музее. **This is the most valuable picture in Russian Museum.**

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «степени сравнения имени прилагательного и наречий».

Задание 4. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Perfect, Past Perfect или Future Perfect.

Пример: Sam **has lost** (lose) his keys. So he can't open the door.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Задайте вопросы к предложениям.

Пример: There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which *book is Sue's*?' 'The one on the table.'

b) 'Whose *book is on the table*?' 'Sue's.'

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Mein Bruder ... Arzt geworden

A. hat; **B. ist**; C. wird;

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Пассивный залог».

Задание 2. Вставьте подходящее вопросительное слово.

Пример: **Was** machen Sie am Wochenende?

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски возвратными местоимениями в нужной форме.

Пример: Wo wohnen d**eine** Eltern?

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках.

Пример: **Kannst** du mir bitte die Marmelade geben? (können)

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Модальные глаголы».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Sie wohnen in Berlin.

Ответ: Wo wohnen Sie? Wer wohnt in Berlin?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по

теме «Вопросительные предложения».

ФРАНЦУЗСКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях следующими предлогами: de, à, chez, dans, pour, depuis. vers, avec, devant. en.

Пример: **Monsieur Dupont est en mission**.

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Предлоги».

Задание 2. Заполните пропуски, выберите правильно указательное прилагательное:

Пример: **Peux-tu me passer ces dictionnaires?**

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Указательные прилагательные».

Задание 3. Поставьте нужный артикль или предлог там, где это необходимо:

Пример: **C'est la salle des études**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Употребление слитного артикля».

Задание 4. Выберите правильную форму глагола:

Пример: **Tous les matins, il s'est levé à 7 heures depuis un an.**

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Présent».

Задание 5. Ответьте на следующие вопросы:

Пример: **Où passez-vous vos vacances d'été? - Je les passe en Crimée.**

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Личные местоимения le, la, les».

Содержание контрольной работы №2

Контрольная работа проводится по теме 3. *Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир) и теме 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность)* и направлена на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Контрольная работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: модальные глаголы и их эквиваленты, образование видовременных форм глагола в пассивном залоге, основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь, неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий, основные сведения о сослагательном наклонении.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №2:

Таблица №2

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Модальные глаголы и их эквиваленты	295	47

Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге	236	71, 115
Основные сведения о согласовании времён	323-328	269
Прямая и косвенная речь	324	268
Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий	311-322	132, 162, 173, 192, 193
Основные сведения о сослагательном наклонении	329	224

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК

Вариант №1

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: You: “Are you engaged?” Taxi driver: “_____”.

Варианты ответов:

1) Yes, I am having a rest.

2) Sorry, but I don’t.

3) No, sir. Where do you wish me to take you?

4) Yes, thank you.

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Перепишите предложения в страдательном залоге.

Пример: The people are discussing politics. **Politics is being discussed.**

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «страдательный залог».

Задание 3. Вставьте модальные глаголы may (might) или can (could).

Пример: Can you help me?

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «модальные глаголы».

Задание 4. Употребите правильную форму глагола в пассивном залоге.

Пример: The roads **are covered** (cover) with the snow.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «страдательный залог».

Задание 5. Вставьте модальный глагол may или might. Раскройте скобки, употребляя требующуюся форму инфинитива.

Пример: **May I ask** (to ask) you to take off your hat?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «модальные глаголы, инфинитив».

Вариант №2

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: The … of shafts is very expensive.

a) making; **b) driving;** c) building;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите подходящую форму глагола в каждом предложении.

Пример: If we **leave** (will leave/leave/leaves) at 7 o’clock, we **will arrive** (will arrive/arrive/arrives) on time.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по

теме «сослагательное наклонение».

Задание 3. Выберите из скобок требующуюся форму причастия.

Пример: We listened to the girls **singing** (singing, sung) folk songs.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «причастие».

Задание 4. Перепишите предложения в страдательном залоге.

Пример: The child has broken the crystal vase. The crystal vase has been broken by the child.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «страдательный залог».

Задание 5. Перефразируйте следующие предложения, употребляя модальный глагол need.

Пример: 1) It is not necessary to go there. **You need not go there.**

2) It was not necessary to go there. **You need not have gone there.**

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «модальные глаголы, инфинитив».

Вариант №3

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: A certain amount of ore … in incline sinking.

a) is extracted; b) is got; c) is mined;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите из скобок требующуюся форму причастия.

Пример: I picked up the pencil **lying** (lying, lain) on the floor.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неличные формы глагола: причастие».

Задание 3. Раскройте скобки, употребляя требующуюся форму инфинитива.

Пример: He seems **to read** (to read) a lot.

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неличные формы глагола: инфинитив».

Задание 4. Перепишите предложения в косвенной речи.

Пример: He said, 'I'm going to the station.' - ***He said (that) he was going to the station.***

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «прямая и косвенная речь, согласование времен».

Задание 5. Переведите на английский язык.

Пример: Если бы я знал французский, я бы уже давно поговорил с ней.

If I had known French, I would have spoken with her.

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «сослагательное наклонение».

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски, поставив существительное из скобок в нужную форму во множественном числе.

Пример: Unsere (Gast) **Gäste** haben mehrere (Stunde) **Stunden** gebraucht, um uns zu finden.

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Множественное число имен существительных».

Задание 2. Вставьте правильное окончание глаголов.

Пример: Ich komm**e** meistens gegen acht Uhr ins Büro und schalt**e** erst einmal den Computer ein.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глагола».

Задание 3. Вставьте модальные глаголы müssen, können, dürfen, möchten или wollen. Возможно несколько правильных вариантов:

Пример: In der Bibliothek: Sie **können** Bücher leihen.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Модальные глаголы».

Задание 4. Составьте Ja/Nein вопросы к данным ответам.

Пример: Nein, ich spreche kein Französisch.

Sprechen Sie Französisch? / Sprichst du Französisch?

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные предложения».

Задание 5. Составьте вопросы и ответьте на них.

Пример: wie • Sie •heißen •? **Wie heißen Sie?**

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Порядок слов в вопросительном предложении».

ФРАНЦУЗСКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Выберите правильный вариант ответа

Пример: **Permettez-moi de vous présenter…**

1) **Le vice-récteur de notre Université.**

2) Voici ma carte de visite.

3) Enchanté, je suis Robert Dupont.

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Притяжательные прилагательные».

Задание 2. Замените инфинитив формой Futur simple или Présent:

Пример: **Si je n'ai pas mal à la tête, j'irai au cinéma avec mes amis.**

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Futur simple. Придаточное предложение условия».

Задание 3 Поставьте глаголы в Imparfait:

Пример: **Chaque année, ils partait camper en montagne.**

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Imparfait».

Задание 4. Поставьте глаголы в Conditionnel présent или Imparfait:

Пример: Nous irions demain à la campagne s'il faisait beau temps.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Conditionnel présent».

Задание 5. Поставьте вместо точек соответствующие местоимения:
Пример: **Vous irez à la campagne**.
Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Futur simple».

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Работа с оценкой «неудовлетворительно» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 1 балл. Максимум 44 балла.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

40-44 балла (90-100%) - оценка «отлично»;
31-39 балла (70-89%) - оценка «хорошо»;
22-30 баллов (50-69%) - оценка «удовлетворительно»;
0-21 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно».

Образец оформления титульного листа



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра иностранных языков и деловой коммуникации

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

по дисциплине
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление подготовки:
15.03.01 Машиностроение

Профиль
Производство и реновация машин и оборудования

формы обучения: очная, заочная

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа МШС-18

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к.т.н, доцент

Екатеринбург
2018

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

по дисциплине

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Авторы: Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией
Безопасности горного производства	Горно-механический
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Елохин В.А.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА……..…..4
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ……..……....….5
ЕСТЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ОПАСНОСТЕЙ……...……..5
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ
СИТУАЦИЯХ……...5
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ……...……..5
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ…….5
УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ…….5
СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ…….,……..5
НАДЗОР И КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА……. ……..5
ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА…….…… ……..6
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……..…….,,,,,……7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….,,…..11
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…….,,..12

ВВЕДЕНИЕ

Современный человек живет в мире различного рода опасностей, т.е. явлений, процессов, объектов, постоянно угрожающих его здоровью и самой жизни. Не проходит и дня, чтобы газеты, радио и телевидение не принесли тревожные сообщения об очередной аварии, катастрофе, стихийном бедствии, социальном конфликте или криминальном происшествии, повлекших за собой гибель людей и громадный материальный ущерб.

По мнению специалистов, одной из причин создавшейся ситуации является недостаточный уровень образования – обучения и воспитания – человека в области обеспечения безопасной деятельности. Только постоянное формирование в людях разумного отношения к опасностям, пропаганда обязательности выполнения требований безопасности может гарантировать им нормальные условия жизни и деятельности.

В курсе БЖД излагаются теория и практика защиты человека от опасных и вредных факторов природного и антропогенного происхождения в сфере деятельности.

Данный курс предназначен для формирования у будущих специалистов сознательного и ответственного отношения к вопросам безопасности, для привития им теоретических знаний и практических навыков, необходимых для создания безопасных и безвредных условий деятельности в системе «человек – среда», проектирования новой безопасной техники и безопасных технологий, прогнозирования и принятия грамотных решений в условиях нормальных и чрезвычайных ситуаций.

В процессе изучения курса БЖД студенту предстоит решить следующие задачи: усвоить теоретические основы БЖД; ознакомиться с естественной системой защиты человека от опасностей; изучить систему искусственной защиты в условиях нормальных (штатных) и чрезвычайных (экстремальных) ситуаций; ознакомиться с проблемами заболеваемости и травматизма на производстве; изучить вопросы управления безопасностью деятельности.

Успешное изучение курса студентами возможно при наличии соответствующей учебной литературы. Предлагаемое вниманию студентов и преподавателей учебное пособие подготовлено в соответствии с учебной программой курса БЖД для студентов всех направлений и специальностей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

В последующем разделе пособия приведена развернутая программа дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Она содержит названия разделов с указанием основных вопросов и разделов каждой темы. Каждая тема является основой вопросов на зачет. При чтении лекций по курсу преподаватель указывает те темы дисциплины, которые выносятся на самостоятельную проработку студентами. Для углубленного освоения темы рекомендуется дополнительная литература. При освоении указанных ниже тем рекомендуется следующий порядок самостоятельной работы студента.

1. Ознакомьтесь со структурой темы.

2. По учебникам освойте каждый структурный элемент темы.

3. При необходимости используйте указанную дополнительную литературу. Консультацию по использованию дополнительной литературы Вы можете получить у преподавателя.

4. Ответьте на контрольные вопросы. При затруднениях в ответах на вопросы вернитесь к изучению рекомендованной литературы.

5. Законспектируйте материал. При этом конспект может быть написан в виде ответов на контрольные вопросы и упражнения.

При самостоятельной работе над указанными темами рекомендуется вести записи в конспектах, формируемых на лекционных занятиях по курсу, и в том порядке, в котором данные темы следуют по учебной программе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Основные понятия и определения. Характеристика форм трудовой деятельности. Опасности среды обитания. Основные положения теории риска. Системный анализ безопасности. Принципы, методы и средства обеспечения безопасности.

ЕСТЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ОПАСНОСТЕЙ

Анатомо-физиологическая характеристика человека. Анализаторы человека. Защитные механизмы организма.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НОРМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

Гелиофизические и метеорологические факторы. Производственная пыль. Механические опасности. Опасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Механические колебания и волны. Электробезопасность. Электромагнитные излучения. Световой климат. Ионизирующие излучения. Световой климат. Ионизирующие излучения. Химические опасности. Биологические опасности. Психологические опасности. Экологические опасности. Социальные опасности. Санитарно-гигиенические требования к устройству и содержанию предприятий.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Общая характеристика чрезвычайных ситуаций. Стихийные бедствия. Аварии на особо опасных объектах экономики. Аварии на объектах горной промышленности и подземных геологоразведочных работ. Чрезвычайные ситуации, связанные с применением современных средств поражения. Прогнозирование и оценка обстановки при чрезвычайных ситуациях. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Устойчивость функционирования объектов экономики в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций. Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Заболеваемость. Травматизм. Методы анализа травматизма.

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Правовые основы обеспечения безопасности деятельности. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий труда. Время отдыха. Подготовка работников к безопасному труду. Система управления охраной труда на предприятии. Экономические аспекты охраны труда.

СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА РАБОТНИКОВ

НАДЗОР И КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

• КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные термины теории безопасности деятельности, дайте их определения.
2. Охарактеризуйте основные формы трудовой деятельности.
3. Что понимают под опасностью среды обитания? Как классифицируют опасности?
4. Сформулируйте аксиому о потенциальной опасности деятельности.
5. В чем состоит идентификация (распознавание) опасности?
6. Что такое квантификация опасностей?
7. Назовите методы анализа безопасности деятельности.
8. Приведите примеры расчета производственного риска.
9. В чем заключается концепция приемлемого риска?
10. Что такое управление риском?
11. Охарактеризуйте системный анализ безопасности деятельности.
12. Перечислите принципы, методы и средства обеспечения безопасности.
13. Изложите сущность естественной системы защиты человека от опасностей.
14. Дайте анатомо-физиологическую характеристику человека.
15. Какова роль анализаторов человека в обеспечении безопасности его деятельности?
16. Опишите зрительный, слуховой и обонятельный анализаторы.
17. Опишите вестибулярный, кинестетический и кожный анализаторы.
18. Что понимают под защитными механизмами человеческого организма?
19. Охарактеризуйте действие гелиофизических и метеорологических факторов на человека.
20. Какое действие оказывают высокие и низкие температуры, повышенная и пониженная влажность на организм человека?
21. Как действуют на организм человека вредные газы и пары?
22. В чем заключается вредное действие производственной пыли на организм? Как ведется борьба с пылью?
23. Назовите средства индивидуальной защиты работающих от пыли.
24. Как классифицируют механические опасности?
25. Перечислите методы и средства защиты от механических опасностей.
26. Укажите, как обеспечивается безопасность при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
27. Охарактеризуйте действие инфразвука и ультразвука на организм и меры защиты от них.
28. Объясните действие шума на организм. Перечислите методы и средства коллективной и индивидуальной защиты от шума.
29. Как борются с вибрацией на горных предприятиях?
30. Объясните действие электрического тока на организм человека.

31. Укажите опасности, связанные с применением электрического тока на горных предприятиях.
32. Назовите основные меры безопасности при эксплуатации электроустановок.
33. Перечислите средства индивидуальной защиты от поражения электрическим током.
34. В чем состоит молниезащита зданий и сооружений?
35. Назовите способы защиты работающих от воздействия электрических и электромагнитных полей.
36. Укажите меры защиты от инфракрасного, ультрафиолетового и лазерного излучений.
37. Как влияет освещение на условия труда? Перечислите виды освещения.
38. Укажите средства нормализации освещения производственных помещений, рабочих мест и горных выработок.
39. Охарактеризуйте виды ионизирующих излучений.
40. Назовите общие принципы защиты от ионизирующих излучений.
41. Охарактеризуйте методы и средства защиты от ионизирующих излучений.
42. Перечислите химические опасности (вредные вещества) и укажите меры защиты от них.
43. Назовите биологические опасности и меры защиты от них.
44. Что понимают под психологическими опасностями?
45. Какие естественные факторы воздействуют на биосферу Земли?
46. В чем заключается антропогенное воздействие на природу?
47. Назовите методы и средства обеспечения экологической безопасности на горных предприятиях.
48. Какие санитарно-гигиенические требования предъявляются к устройству и содержанию предприятий?
49. Что такое чрезвычайная ситуация?
50. Перечислите признаки, характеризующие чрезвычайные ситуации.
51. Как классифицируют чрезвычайные ситуации по причинам возникновения?
52. Охарактеризуйте стихийные бедствия. Укажите мероприятия по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий.
53. Перечислите виды аварий на особо опасных объектах экономики (народного хозяйства). В чем заключается профилактика возникновения аварий на таких объектах?
54. Какие аварии происходят на объектах горной промышленности? Укажите методы профилактики и ликвидации таких аварий.
55. Охарактеризуйте чрезвычайные ситуации, связанные с применением современных средств поражения.
56. Перечислите основные принципы и способы защиты населения от чрезвычайных ситуаций.

57. Какие действия надлежит выполнить населению при стихийных бедствиях и авариях?
58. Укажите действия населения при возникновении угрозы нападения противника.
59. Какие действия должно выполнять население в очагах поражения и после выхода из них?
60. Какие факторы влияют на устойчивость функционирования объектов экономики?
61. Перечислите основные мероприятия по повышению устойчивости функционирования объектов экономики.
62. Назовите принципы организации и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСиДНР) в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени.
63. Какие приемы и способы проведения АСиДНР используются в очагах поражения?
64. Перечислите меры безопасности при проведении АСиДНР.
65. По каким признакам классифицируют травмы и несчастные случаи на производстве?
66. Перечислите причины травматизма.
67. Укажите причины несчастных случаев на шахтах.
68. Опишите порядок расследования и учета несчастных случаев на производстве.
69. В чем заключается профилактика травматизма?
70. Какие методы используются при анализе травматизма?
71. Как расследуются профессиональные заболевания?
72. Кто назначает комиссию по расследованию профессионального заболевания?
73. Каким образом определяется окончательный диагноз острого профессионального заболевания?
74. Назовите меры профилактики профессиональных заболеваний.
75. Назовите меры профилактики производственного травматизма.
76. Изложите правовые основы обеспечения безопасности деятельности.
77. Какие обязанности возложены на администрацию предприятия по обеспечению охраны труда?
78. Перечислите виды подготовки работников к безопасному труду.
79. Что понимают под системой управления охраной труда на предприятиях?
80. Назовите основные нормативные документы, обеспечивающие безопасность деятельности.
81. Какова продолжительность ежедневной работы?
82. Какова профессиональная подготовка работников к безопасному труду?
83. Опишите систему управления охраной труда.
84. Назовите фонды охраны труда.

85. Чем обусловливается эффективность мероприятий по охране труда?
86. Опишите медицинское обслуживание работников.
87. Какие существуют льготы и компенсации за вредные и опасные условия труда?
88. Поясните суть обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.
89. Назовите обязательные принципы обязательного страхования от несчастных случаев на производстве и профзаболеваний.
90. Кто имеет право на получение страховых выплат в случае смерти застрахованного?
91. Как осуществляются страховые выплаты по социальному страхованию?
92. Как начисляется пособие по временной нетрудоспособности?
93. Каков порядок привлечения к дисциплинарной ответственности?
94. Кто может привлекать к дисциплинарной ответственности.
95. Кто может привлекать к административной ответственности?
96. В каких случаях привлекают к уголовной ответственности?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среде обитания человека постоянно присутствуют естественные, техногенные и антропогенные опасности.

Полностью устранить негативное влияние естественных опасностей человечеству до настоящего времени не удается. Реальные успехи в защите человека от стихийных явлений сводятся к определению наиболее вероятных зон их действия и ликвидации возникающих последствий.

Мир техногенных опасностей вполне познаваем, и у человека есть достаточно способов и средств для защиты.

Антропогенные опасности во многом обусловлены недостаточным вниманием человека к проблеме безопасности, склонностью к риску и пренебрежению опасностью. Часто это связано с ограниченными знаниями человека о мире опасностей и негативных последствиях их проявления. Воздействие антропогенных опасностей может быть сведено к минимуму за счет обучения населения и работающих основам безопасности жизнедеятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учебное пособие / В.В. Токмаков, Ю.Ф. Килин, А.М. Кузнецов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный горный университет. - 4-е изд., испр. и доп. - Екатеринбург: УГГУ, 2018. - 272 с.

Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / В.А. Подюков, В.В. Токмаков, В.М. Куликов ; под ред. В.В. Токмакова ; Уральский государственный горный уни-верситет. - 3-е изд., испр. и доп. - Екатеринбург : УГГУ, 2007. - 314 с.

Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник. 5-е изд., исправл. и доп. – М.: Изд-во «Юрай», 2015. – 702с.

Безопасность жизнедеятельности: энциклопедический словарь / под ред. проф. Русака О. Н. – СПб.: Инф-изд. агент «Лик», 2003.

Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / К. З. Ушаков, Н. О. Каледина, Б. Ф. Кирин, М. А. Сребный / под ред. К. З. Ушакова. – М.: Изд-во МГГУ, 2000. – 430 с.

Воронов Е. Т., Резник Ю. Н., Бондарь И. А. Безопасность жизнедеятельности. Теоретические основы БЖД. Охрана труда: учебное пособие. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2010. – 390 с.

Занько Н. К., Малаян К. Р., Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности: учебник. – М.: Лань, 2012. – 672 с.

Субботин А. И. Управление безопасностью труда: учебное пособие. – М.: Изд-во МГГУ, 2014. – 266 с.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

по дисциплине

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Авторы: Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией
Безопасности горного производства	Горно-механический
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Елохин В.А.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Цель практического занятия — закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Человек и среда обитания: воздействия негативных факторов окружающей среды на человека», и формирование практических навыков расчета воздухообмена в производственных помещениях необходимого для очистки воздуха от вредностей: для удаления вредных веществ (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); для удаления излишних водяных паров; для удаления избыточного тепла.

Общие сведения. Среда обитания — это окружающая человека среда, осуществляющая через совокупность факторов (физических, биологических, химических и социальных) прямое или косвенное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье, трудоспособность и потомство. В жизненном цикле человек и окружающая среда обитания непрерывно взаимодействуют и образуют постоянно действующую систему «человек — среда обитания», в которой человек реализует свои физиологические и социальные потребности. В составе окружающей среды выделяют природную, техногенную, производственную и бытовую среду. Каждая среда может представлять опасность для человека. В данной работе рассматривается расчет потребного воздухообмена (L м^3/ч), для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла с помощью механической общеобменной вентиляции.

Задание. В помещении объемом V работают n человек со средней производительностью a каждый. Они производят покраску и шпаклевку изделий нитро- (на основе ацетона) красками, эмалями и шпаклевками, для чего используется ручное и механизированное оборудование. В этом же помещении производится пайка N контактов припоем ПОС-60. Источники тепловыделения

– оборудование мощностью Рном и осветительная сеть мощностью Роев из люминесцентных ламп. Расчеты вести для холодного периода года. Помещение имеет *К* окон направленных на север размерами 2,5х1,75 м с двойным остеклением и деревянными рамами. Категория работ – III (тяжелая).

Рассчитать потребный воздухообмен и определить кратность воздухообмена для: 1) испарений растворителей и лаков; 2) при пайке припоем ПОС-60; 3) удаления выделяемой людьми углекислоты; 4) удаления избыточного тепла.

Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки воздуха.

Потребный воздухообмен определяется по формуле

$$L = \frac{G \times 1000}{x_н - x_в}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (1.1)$$

где *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; *G*, г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_в$, мг/м^3 – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [1]; $x_н$, мг/м^3 – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338- 03) □4□.

Применяется также понятие кратности воздухообмена (n), которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Значение n □ □ может быть достигнуто естественным воздухообменом без устройства механической вентиляции.

Кратность воздухообмена определяется по формуле

$$n = \frac{L}{V_n}, \text{ ч}^{-1}, \qquad (1.2)$$

где n, раз/ч – кратность воздухообмена; *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; V_n – внутренний объем помещения, м^3.

Согласно СП 2.2.1.1312-03, кратность воздухообмена n > 10 недопустима.

Так как $x_н$ определяется по табл. 1.1 прил.1, а $x_в$ по табл. 1.2 прил.1, то для расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять

количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения.

Таблица 1.0

Исходные данные для расчёта потребного воздухообмена

№ вар.	*a*, м²/ч	Материал	*n* чел.	*V* м3	*N* шт/час	Местность	$P_{ном.}$ кВт	$P_{осв.}$ кВт	*m* окон
1	2	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	100	40	Сельские населенные пункты	10	0,5	2
2	1,5		2	200	35		20	0,5	3
3	1		3	300	400		30	1	4
4	2		4	400	45	Малые города	40	1	5
5	3	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	500	305		200	1	6
6	4		1	600	48		150	1,5	6
7	3,5		1	700	450	Большие города	200	1	6
8	5		1	800	480		100	2	8
9	0,2	Шпаклевка кистью	3	80	325		10	0,5	2
10	0,3		4	200	420	Сельские населенные пункты	20	1	4
11	1,5	Шпаклевка механизир,	1	200	250		30	1	3
12	1		2	300	450		40	1,5	4
13	0,8	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	150	300	Малые города	50	0,6	2
14	1		2	150	48		60	0,8	3
15	1,2		1	120	335		70	1	2
16	0,7		2	200	400	Большие города	80	1,2	4
17	2	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	200	280		90	0,6	4
18	2,5		2	400	480		100	0,8	6
19	2,2		1	400	290	Сельские населенные пункты	150	1,2	8
20	1,8		2	600	300		200	1,5	8
21	0,3	Шпаклевка кистью	1	80	200		250	0,5	I
22	0,4		2	100	250	Малые города	300	0,6	2
23	1	Шпаклевка механизир.	1	150	242		60	1	2
24	1		2	400	440	Большие города	80	1	3
25	1,5	Шпаклевка	1	100	270		100	1,2	4

26	2	кистью	3	200	180		150	0,5	6

Рассмотрим отдельные характерные случаи выделения вредных веществ в воздух помещения и определения потребного воздухообмена.

1.1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле

$$G = \frac{a \times A \times m \times n}{100}, \text{ г/ч}, \qquad (1.3)$$

где a, м^2/ч – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – 12 м^2/ч, пульверизатором – 50 м^2/ч); A, г/м^2 – расход лакокрасочных материалов; m, % – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Численные значения величин A и m определяются по табл. 1.3 прил. 1.

Пример. Определить количество выделяющихся в воздух помещения летучих растворителей.

Решение:

По табл. 3 прил. 1 для цветного аэролака при окраске распылением находим, что A = 180 г/м^2, m = 75 %, тогда G = 50·180·75·2/100 = 13500 г/ч. Далее определяем потребный воздухообмен в помещении по формуле (1.3). Находим для ацетона из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1, что $x_в$ = 200 мг/м^3, $x_н$= 0,35 мг/м^3, тогда L = 13500·1000/(200 - 0,35) = 67500 м^3/ч.

Ответ: L = 67500 м^3/ч.

1.2. Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который содержит C = 0,4 доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до B = 0,1 % свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паек – N, количество выделяемых паров свинца определяется по формуле

$$G = C \times B \times N, \text{ мг/ч}, \quad (1.4)$$

где G, г/ч – количество выделяемых паров свинца; C – содержание свинца; B – % свинца; N – число паек.

Пример. В помещении объемом $V_п$ = 1050 м^3 три человека осуществляют пайку припоем ПОС-40 с производительностью по 100 контактов в час. Найти требуемую кратность воздухообмена.

Решение:

По формуле (1.4) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух: G = 0,6·0,001·10·100·3 = 1,8 мг/ч. Далее определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1). Находим из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1 для свинца и его соединений $x_в$ = 0,01 мг/м^3; $x_н$ = 0,001 мг/м^3. Тогда L = 1,8 / (0,01- 0,001) = 200,0 м^3/ч.

Ответ: L = 185,5 м^3/ч.

1.3. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой концентрации её.

Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и

выполняемой работы, а также допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в табл. 1.4 и 1.5 прил. 1.

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержания CO_2 следующие значения: для сельских населенных пунктов – 0,33 л/м^3, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – 0,4 л/м^3, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 0,5 л/м^3.

Пример. Определить потребную кратность воздухообмена в помещении, где работают 3 человека.

Решение:

По табл. 1.4 прил.1 определяем количество CO_2, выделяемой одним человеком g = 23 л/ч. По табл. 1.5 прил. 1 определяем допустимую концентрацию CO_2. Тогда $x_в$ = 1 л/м3 и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов $x_н$ = 0,5 л/м^3 .Определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1) L = 23·3/(1- 0,5) = 138 м^3/ч. Ответ: L = 138 м^3/ч.

1.4. Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа. Считая, что просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и, предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов, просочившихся через неплотности, можно определить по формуле

$$G = k \times c \times \sqrt[v]{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч,} \qquad (1.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования (k = 1–2); c – коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Таблица 1.2

Коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате

Давление p, атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

Пример. Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре p_a = 3 атм, а в проводящих трубопроводах $p_а$=4 атм. Внутренний объем аппаратуры v_a = 5 м^3, объём трубопроводов, $v_{тр}$ = 1,2 м^3. Температура газа в аппаратуре – $t_а$ = 120 °С, в трубопроводе – $t_{тр}$ = 25 °С. Определить потребный воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H_2S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем k = 1,5; c = 0,169 (по табл. 1.2); M = 34, для H_2S; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_а = 1{,}5 \times 0{,}169 \times \sqrt[5]{\frac{34}{393}} = 0{,}372$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{ТР} = 1{,}5 \times 0{,}172 \times 1{,}2 = 0{,}104$$

$$G = G_а + G_{ТР} = 0{,}372 + 0{,}104 = 0{,}476, кг/ч$$

Используя данные табл. 1.1 прил. 1, находим, что для сероводорода $x_в$ =10 мг/м^3; $x_н$ = 0,008 мг/м^3. Потребный воздухообмен равен

$$L = \frac{4761000}{(10 - 0{,}008)} = 47638{,}1 \ {м^3}/{ч}$$

Ответ: L = 47638,1 м^3/ч

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ. По действию на организм человека они могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения потребного воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Пример. Для первой вредности в воздухе рабочей зоны – вредных (токсичны) веществ в рассмотренных примерах все относятся к веществам разнонаправленного действия, поэтому принимаем к дальнейшему расчету максимальное из полученных значений, т. е. L = 67500 м^3/ч (потребный воздухообмен для паров растворителей при окраске).

Для проверки соответствия требованиям устройства вентиляции определим кратность воздухообмена n = 67500/4800 = 14,1 ч$^{-1}$. Данное значение превышает установленную величину – 10 ч$^{-1}$, поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения от двух мест окраски растворителей по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции.

Расчет объёма воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле

$$\mathrm{L_{MB}} = \mathrm{F} \times \mathrm{v} \times 3600, {}^{\mathrm{м}^3}\!/_{\mathrm{ч}}\,, \qquad (1.6)$$

где F – площадь сечения всасывающих отверстий, м^2; v – скорость воздуха в сечении вытяжной вентиляции, м/с. Рекомендуется принимать значение скорости в интервале 0,8-1,5 м/с.

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений сероводорода: L = 47638,1 м^3/ч.

Проверка:

$$n = 47638,\ 1/4800 = 9,\ 9\ \text{ч}^{-1}.$$

1.5. Расчёт потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{\gamma_B \times c\Delta t},\ \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (1.7)$$

где L, м^3/ч – потребный воздухообмен; $Q_{изб}$, ккал/ч – избыточное тепло; $\gamma_в$ = 1,206 кг/м^3 – удельная масса приточного воздуха; $c_в$ = 0,24 ккал/кг□град – теплоемкость воздуха;

$$\Delta t = t_{\text{вых}} - t_{\text{пр}},\ ^{\circ}\text{C} \qquad (1.8)$$

где $t_{вых}$, °С – температура удаляемого воздуха; $t_{пр}$, °С – температура приточного воздуха.

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха – $Q_н$: при $Q_н \leq 20$ ккал/м^3·ч Δt = 6 °С; при $Q_н > 20$ ккал/м^3·ч Δt = 8 °С;

$$\text{Q}_\text{н} = \frac{\text{Q}_{\text{изб}}}{\text{V}_\text{n}},\ \text{ккал/ м}^3\cdot\text{ч}, \qquad (1.9)$$

где V_n, м^3 – внутренний объем помещения.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле

$$\text{Q}_{\text{изб}} = \text{Q}_{\text{об}} + \text{Q}_{\text{осв}} + \text{Q}_\text{л} + \text{Q}_\text{р} - \text{Q}_{\text{отд}},\ \text{ккал/ч}, \qquad (1.10)$$

где $Q_{об}$, ккал/ч – тепло, выделяемое оборудованием; $Q_{осв}$, ккал/ч – тепло, выделяемое системой освещения; $Q_л$, ккал/ч – тепло, выделяемое людьми в помещении; $Q_р$, ккал/ч – тепло, вносимое за счет солнечной радиации; $Q_{отд}$, ккал/ч – теплоотдача естественным путем.

Определяем количество тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{об} = 860 \times P_{об} \times y_1 \text{ , ккал/ч} \quad (1.11)$$

где Y_1 – коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования; $P_{об}$, кВт – мощность, потребляемая оборудованием;

$$P_{об} = P_{ном} \times y_2 \times y_3 \times y_4 \text{ , кВт,} \quad (1.12)$$

где $P_{ном}$, кВт – номинальная (установленная) мощность электрооборудования помещения; Y_2 – коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой; Y_3 – коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой; Y_4 – коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным:

$$y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 = 0{,}25 \quad (1.13)$$

Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{осв} = 860 \times P_{осв} \times \alpha\beta \times \cos(\varphi), \quad (1.14)$$

где α – коэф. перевода электрической энергии в тепловую для лампы накаливания α = 0,92 – 0,97, люминесцентной лампы α = 0,46 – 0,48; b – коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников b = 1); cos (φ) = 0,7 – 0,8 – коэффициент мощности; $P_{осв}$, кВт – мощность осветительной установки.

Определяем количество тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_л = N \times q_л, \quad (1.15)$$

где N – количество людей в помещении; $q_л$, ккал/ч – тепловыделения одного человека табл. 1.6 прил. 1.

Определяем количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_p = K \times S \times q_{ост} \text{ , } \quad (1.16)$$

где K – количество окон; S, м^2 – площадь одного окна; $q_{ост}$, ккал/ч – солнечная радиация через остекленную поверхность табл. 1.7 прил. 1.

Определяем теплоотдачу, происходящую естественным путем. Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что $Q_{отд} = Q_р$ для холодного и переходного периодов года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 ^{o}C). Для теплого периода года (среднесуточная температура воздуха выше +10 ^{o}C) принимаем $Q_{отд} = 0$.

Общий вывод: Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Приложение 1

Таблица 1.1

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03)

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Азота диоксид	0,085	0,04	п
Азота оксид	0,6	0,06	п
Акролеин	0,03	0,03	п
Амилацетат	0,10	0,10	п
Аммиак	0,2	0,04	п
Ацетон	0,35	0,35	п
Бензин (углеводороды)	5,0	1,5	п
Бензол	1,5	0,1	п
Бутан	200	-	п
Бутилацетат	0,1	0,1	п
Винилацетат	0,15	0,15	п
Дихлорэтан	3,0	1,0	п
Ксилол	0,2	0,2	п
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а
Метилацетат	0,07	0,07	п
Мышьяк и его неорг. соединения	-	0,003	а
Озон	0,16	0,03	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	0,15	0,05	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	0,5	0,15	а
Ртути хлорид (сулема)	-	0,0003	а
Сажа	0,15	0,05	а
Свинец и его соединения	0,001	0,0003	а
Сернистый ангидрид	0,5	0,15	п
Серная кислота	0,3	0,1	а

Продолжение табл. 1.1

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Сероводород	0,008	-	п
Сероуглерод	0,03	0,005	п
Спирт бутиловый	0,16	-	п
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	п
Спирт метиловый	1,0	0,5	п
Спирт этиловый	5	5	п
Стирол	0,04	0,002	п
Толуол	0,6	0,6	п
Углерода оксид	5,0	3,0	п
Фенол	0,01	0,003	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,02	0,005	п
Хлор	0,1	0,03	п
Хлористый водород	0,2	0,2	п
Этилацетат	0,1	0,1	п

Примечание: п – пары и/или газы; а – аэрозоль

Таблица 1.2

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухерабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Азота диоксид	2,0	3	п
Азота оксиды	5,0	3	п
Акролеин	0,2	2	п
Амилацетат	100	4	п
Аммиак	20	4	п
Ацетон	200	4	п
Бензин (углеводороды)	100	4	п
Бензол	15/5	2	п
Бутан	300	4	п
Бутилацетат	200	4	п
Винилацетат	10,0	4	п
Дихлорэтан	10,0	2	п
Ксилол	50,0	3	п
Марганец и его соединения (от 2-30 %)	0,1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Мышьяк и его неорг. соединения	0,04/0,01	2	а
Озон	0,1	1	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	1,5	4	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	4,0	4	а
Ртути хлорид (сулема)	0,2/0,05	1	а
Сажа	4,0	3	а
Свинец и его соединения	0,01/0,005	1	а
Серная кислота	1,0	2	а
Сернистый ангидрид	10	3	п
Сероводород	10,0	3	п

Продолжение табл. 1.2

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Сероуглерод	1,0	3	п
Спирт бутиловый	10,0	3	п
Спирт изобутиловый	10,0	3	п
Спирт метиловый	5,0	3	п
Спирт этиловый	1000	4	п
Стирол	30/10	3	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Фенол	0,3	2	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,5/0,1	2	п
Хлор	1,0	2	п
Хлористый водород	5,0	1	п
Этилацетат	200	4	п

Примечание: значение в числителе – максимально разовые; в знаменателе – среднесменные

Таблица 1.3

Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов, *A*, г/м^2	Содержание летучей час- ти, *m*, %
Нитролаки и краски		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки/распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80-85
Масляные лаки и эмали		
Окраска распылением	60-90	35

Таблица 1.4

Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые:		
при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Таблица 1.5

Предельно-допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые ком.)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для учреждений	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Таблица 1.6

Количество тепловыделений одним человеком при различной работе

Категория тяжести работы		Количество тепловыделений $q_л$, ккал/ч в зависимости от окружающей температуры воздуха			
		15 ºС	20 ºС	25 ºС	30 ºС
Легкая	I	100	70	50	30
Средней тяжести	II-а	100	70	60	30
Средней тяжести	II-б	110	80	70	35
Тяжелая	III	110	80	80	35

Таблица 1.7

Солнечная радиация через остекленную поверхность

	Солнечная радиация, $q_{ост}$, ккал/ч от стороны света и широты, град.														
	ЮГ			ЮГО-ВОСТОК ЮГО-ЗАПАД				ВОСТОК ЗАПАД				СЕВЕР, СЕВЕР. ВОСТОК СЕВЕРО-ЗАПАД			
	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими рамами	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фо- нарь с двойным остеклением и металлическими переплет.	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 342 с.

2. Каменев П.Н. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 289 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

4. ГН2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. ОЦЕНКА РИСКА

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Основы теории безопасности: системный анализ безопасности», и формирование практических навыков расчета индивидуального и группового (социального) риска в конкретных ситуациях.

Общие сведения. Опасность – одно из центральных понятий безопасности жизнедеятельности (БЖД).

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики (параметры), несоответствующие условиям жизнедеятельности человека. Можно сказать, что опасность – это риск неблагоприятного воздействия.

Практика свидетельствует, что абсолютная безопасность недостижима. Стремление к абсолютной безопасности часто вступает в антагонистические противоречия с законами техносферы.

В сентябре 1990 г. в г. Кельне состоялся первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности человека как научной дисциплине. Девиз конгресса: «Жизнь в безопасности». Участники конгресса постоянно оперировали понятием «риск».

Возможны следующие определения риска:

1. Это количественная оценка опасности, вероятность реализации опасности;

2. При наличии статистических данных, это частота реализации опасностей.

Различают опасности реальные и потенциальные. В качестве аксиомы принимаются, что любая деятельность человека потенциально опасна. Реализация потенциальной опасности происходит через ПРИЧИНЫ и приводит к НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫМ ПОСЛЕДСТВИЯМ.

Сейчас перед специалистами ставится задача – не исключение до нуля

безопасности (что в принципе невозможно). А достижение заранее заданной величины риска реализации опасности. При этом сопоставлять затраты и получаемую от снижения риска выгоду. Во многих западных странах для более объективной оценки риска и получаемых при этом затрат и выгод, вводят финансовую меру человеческой жизни. Заметим, что такой подход имеет противников, их довод – человеческая жизнь свята, бесценна и какие-то финансовые оценки недопустимы. Тем не менее, по зарубежным исследованиям, человеческая жизнь оценивается, что позволяет более объективно рассчитывать ставки страховых тарифов при страховании и обосновывать суммы выплат.

Поскольку абсолютная безопасность (нулевой риск) невозможна, современный мир пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска.

Суть концепции заключается в стремлении к такой безопасности, которую принимает общество в данное время. При этом учитывается уровень технического развития, экономические, социальные, политические и др. возможности. Приемлемый риск – это компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Это можно рассмотреть в следующей ситуации. После крупной аварии на Чернобыльской АЭС, правительство СССР решило повысить надежность всех ядерных реакторов. Средства были взяты из госбюджета и, следовательно, уменьшилось финансирование социальных программ здравоохранения, образования и культуры, что в свою очередь привело к увеличению социально-экономического риска. Поэтому следует всесторонне оценивать ситуацию и находить компромисс – между затратами и величиной риска.

Переход к «риску» дает дополнительные возможности повышения безопасности техносферы. К техническим, организационным, административным добавляются и экономические методы управления риском (страхование, денежные компенсации ущерба, платежи за риск и др.). Есть здравый смысл в том, чтобы законодательно ввести квоты за риск. При этом

возникает проблема расчета риска: статистический, вероятностный, моделирование, экспертных оценок, социологических опросов и др. Все эти методы дают приблизительную оценку, поэтому целесообразно создавать базы и банки данных по рискам в условиях предприятий, регионов и т.д.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с общими сведениями. Записать определения.
2. Выполнить практические задачи.

Практические задачи

Задача 1. В таблице 2.0 приведен ряд профессий по степени индивидуального риска фатального исхода в год. Используя данные табл.1 методом экспертных оценок охарактеризуйте вашу настоящую деятельность и условия вашей будущей работы.

Таблица 2.0

Классификация профессиональной безопасности

Категория	Условия профессиональной деятельности	Риск смерти (на человека в год)	Профессия
1	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Текстильщики, обувщики, работники лесной промышленности, бумажного производства и др.
2	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	Шахтеры, металлурги, судостроители и др.
3	Опасные	$1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$	Рыбопромысловики, верхолазы, трактористы и др.
4	Особо опасные	больше $1 \cdot 10^{-2}$	Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов.

После обсуждения письменно сформулируйте свою оценку.

Для решения следующих задач используйте формулу определения индивидуального риска

$$P = \frac{h}{H}, \qquad (2.1)$$

где P – индивидуальный риск (травмы, гибели, болезни и пр.); h – количество реализации опасности с нежелательными последствиями за определенный период времени (день, год и т.д.); H – общее число участников (людей, приборов и пр.), на которых распространяется опасность.

Пример решения задачи по формуле (2.1).

Пример. Задача 1. Ежегодно неестественной смертью гибнет 250 тыс. человек. Определить индивидуальный риск гибели жителя страны при населении в 150 млн. человек.

Решение.

$Рж = 2{,}5 \cdot 10^5 / 1{,}5 \cdot 10^8 = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$

Или будет 0,0017. Иначе можно сказать, что ежегодно примерно 17 человек 10000 погибает неестественной смертью. Если пофантазировать и предположить, что срок биологической жизни человека равен 1000 лет, то по нашим данным оказывается, что уже через 588 лет (1:0,0017) вероятность гибели человека неестественной смертью близка к 1 (или 100%).

Примечание. Здесь и в задачах №2,3 данные приближены к России.

Задача 2. Опасность гибели человека на производстве реализуется в год 7 тыс. раз. Определить индивидуальный риск погибших на производстве при условии, что всего работающих 60 млн. человек. Сравните полученный результат с вашей экспертной оценкой из задачи 1.

Задача 3. Определить риск погибших в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), если известно, что ежегодно гибнет в ДТП 40 тыс. человек при населении 150 млн. человек.

Задача 4. Используя данные индивидуального риска фатального исхода в год для населения США (данных по России нет), определите свой

индивидуальный риск фатального исхода на конкретный год. При этом можно субъективно менять коэффициенты и набор опасностей.

Таблица 2.1

Индивидуальный иск гибели в год

Причина	Риск	Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$	Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падения	$9 \cdot 10^{-5}$	Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$	Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$	Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$	Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$	Все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
Станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-5}$	Ядерная энергетика	$2 \cdot 10^{-10}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$	(пренебрегаемо мал. риск)	

Риск общий для американца: $P_{общ} = 6 \cdot 10^{-4}$

Сравнить полученный результат с результатом примера решения.

Задачи на риск гибели неестественной смертью в России и с риском гибели в год для американца ($P_{общ}$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русак О.Н. Труд без опасности. Л. «Лениздат», 1986, 191 с.

2. Береговой Г.Т. и др. Безопасность космических полетов. М., «Машиностроение», 1977, 320 с.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель практического занятия :закрепление теоретических знаний, полученных при изучении раздела “Гелиофизические и метеорологические фактора: микроклимат производственных помещений”, и формирование практических навыков расчета метеорологических условий в производственном помещении и гигиенической оценки параметров микроклимата.

Общие сведения:

Одним из основных условий эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях. Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на терморегуляцию организма человека и могут привести кпереохлаждение или перегреву тела

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, определяемый действующими на организм человека факторами: сочетанием температуры воздуха, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения, температуры поверхности ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д

Под рабочей зоной понимается пространство высотой до 2м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Причиной ряда заболеваний является местное и общее охлаждение. Переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям: ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. Установлено, что при переохлаждении

ног и туловища возникает спазм сосудов слизистых оболочек дыхательного тракта.

Перегревание возникает при избыточном накоплении тепла в организме, которое возникает при действии повышенных температур. Основными признаками перегревания являются повышение температуры тела до 38°Си более, обильное потоотделение, слабость, головная боль, учащение дыхания и пульса, изменение артериального давления и состав крови, шум в ушах, искажение цветового восприятия

Тепловой удар – это быстрое повышение температуры тела 40°С и выше. В этом случае падает артериальное давление, потоотделение прекращается, человек теряет сознание.

Организм человека обладает свойством терморегуляции – поддержание температуры тела в определенных границах (36,1…37,2°С) Терморегуляция обеспечивает равновесие между количеством тепла, непрерывно образующегося в организме человека в процессе обмена веществ, теплопродукцией и излишком тепла, непрерывно выделяемого в окружающую среду, - теплоотдачей, т.е сохраняет тепловой баланс организма человека. Количество выделившейся теплоты меняется от 8Вт до 50 Вт.

Теплопродукция. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени в мышцах и печени. В процессе работы в организме происходят различные биохимические процессы, связанные с деятельностью мышечного аппарата и нервной системы. Энергозатраты человека, выполняющего различную работу, могут быть классифицированы на категории.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы, средние физические работы, тяжелые физические работы.

К категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории 1б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140…174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (в полиграфической промышленности, на часовом, швейном производствах, в сфере управления)

К категории 2а относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…232 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, перемещением мелких изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории 2б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории 3 относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Теплоотдача. Количество тепла, отдаваемого организмом человека, зависит от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Теплоотдача осуществляется путем радиации, конвекции, испарения пота и дыхания. Для человека, находящегося в состояние покоя и одетого в обычную комнатную одежду, соотношение составляющих теплоотдачи имеет следующие распределения, % радиацией – 45, конвекцией – 30, испарением и дыханием – 25.

Основное значение имеет регулирование теплоотдачи, так как она является наиболее изменчивой и управляемой. Комфортные тепло ощущения у человека возникают при наличии теплового баланса организма, а также при условии его некоторого нарушения. Это обеспечивается тем, что в организме человека имеется некоторый резерв тепла, который используется им в случае охлаждения. Этот потенциальный запас тепла составляет в среднем 8360 кДж и находится главным образом во внешних слоях тканей организма на глубине 2-3 см от кожи. При известном уменьшении запаса тепла у человека появляются субъективно

ощущения «прохлады», которые, если охлаждение продолжается, сменяются ощущениями «холодно», «очень холодно»

Действующими нормативными документами, регламентирующими метеорологические условия производственной среды, являются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» Этими документами установлены влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

В соответствии с вышеуказанным стандартом теплым периодом года считается сезон, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С.

Допустимыми считаются такие параметры микроклимата, которые при длительном воздействии могут вызывать напряжения реакции терморегуляции человека, но к нарушению состояния здоровья не приводят.

Оптимальными являются такие микроклиматические параметры, которые не вызывают напряжения реакций терморегуляции и обеспечивают высокую работоспособность человека.

Расчет показателей микроклимата базируются на опытных данных о давлении, температуре и скорости движения воздуха на рабочем месте полученных при замерах на нем с помощью соответствующих приборов

Показатели микроклимата вычисляются в следующей последовательности:

1. Атмосферное давление В, Па, на рабочем месте, измеренное с помощью барометра-анероида БАММ-1

$$В = В_п + В_ш + В_т + В_д , \qquad (3.1)$$

где В– исправленное значение замеренного давления, Па; Вп – отсчет по прибору, Па; Вш – шкаловая поправка;Вт – температурная поправка, равная

произведению температуры прибора на удельную температуру поправки прибора; Вд – добавочная поправка, Па.



Рис. 3.1 Барометр-анероид «БААМ-1»

Барометр-анероид «БААМ-1» измеряет атмосферное давление в наземных условиях в диапазоне температур от 0 до +40 С° и при относительной влажности воздуха более 80%

2. Температура воздушной среды измеряется с помощью ртутных или спиртовых термометров, а также с помощью термографов, обеспечивающих непрерывную запись температуры на ленте за определенный период времени. Температуру воздушной среды можно измерить также с помощью психрометров и термометров

3. Влажность воздуха – абсолютная и относительная определяется с помощью психрометров. Психрометр состоит из сухого и влажного термометров. Резервуар влажного термометра покрыт тканью, которая опущена в мензурку с водой. Испаряясь, вода охлаждает влажный термометр, поэтому его показания всегда ниже показания сухого.

Психрометры бывают типа Августа (Рис 3.2) и переносными, типа Ассмана (Рис 3.3). Психрометр Ассмана является более совершенным и точным прибором по сравнению с психрометром Августа. Принцип его устройства тот же, но термометры заключены в металлическую оправу, шарики термометра находятся в двойных металлических гильзах, а в головке прибора помещается вентилятор с постоянно скоростью 4 м/с.

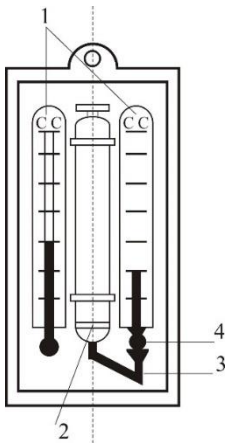


Рис. 3.2 Психрометры Августа

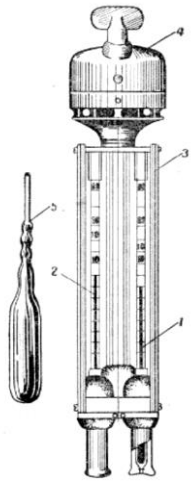


Рис. 3.3 Психрометр Ассмана

Влажность воздуха может быть рассчитана: 1) по давлению водяного пара, находящегося в воздухе или 2) по плотности водяного пара

При первом способе сначала определяется давление водяного параЮ находящегося в воздухе при данной температуре

$$P_{в.п} = P_{н.в} - c(T_c - T_B)B \qquad (3.2)$$

где Рн.в– давление насыщенного водяного пара при температуре tв, зафиксированной влажным термометром, Па;с–коэффициент психрометра, зависящий от скорости движения воздуха около шарика мокрого термометра (при скорости движения воздуха до 4 м/с принимают с = 0.00074, свыше 4 м/с – 0,00066) tc и tв – температура сухого и влажного термометра,В–барометрическое давление воздуха в момент измерения температур психрометром, Па

Определив порациональнее давление водяного пара, находят относительную влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\% \,, \qquad (3.3)$$

где $P_{\text{н.с}}$– давление насыщенного водяного пара при температуре t_c, зафиксированной влажным термометром,

При расчете влажности воздуха по плотности водяного пара определяются:

а) абсолютная влажность воздуха (масса водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре)

$$F = \frac{(1000 * P_{\text{в.п}})}{(461{,}5(273 + t_c))} \,, \qquad (3.4)$$

где 461,5 – удельная газовая постоянная водяного пара Дж/(кг *К);

б) максимальная абсолютная влажность воздуха

$$\text{A}_{\text{max}} = \frac{1000 * P_{\text{н.с}}}{461{,}5 * (273 + t_c)} \,, \qquad (3.5)$$

в) относительная влажность воздуха φ

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} * 100 \,, \qquad (3.6)$$

Таблица 3.0

Давление насыщенного водяного пара Р, Па при температуре воздуха

t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па
0	611	10	1228	20	2328	30	4242
1	657	11	1312	21	2486	31	4493
2	705	12	1403	22	2644	32	4754
3	759	13	1497	23	2809	33	5030
4	813	14	1599	24	2894	34	5320
5	872	15	1705	25	3168	35	5624
6	935	16	1817	26	3361	36	5941
7	1001	17	1937	27	3565	37	6275
8	1073	18	2064	28	3780	38	6625
9	1148	19	2197	29	4005	39	6991

Значение относительной влажности φ, найденного описанными способами, может быть проверено по данным психометрической таблицы

4. Скорость движения воздуха измеряется с помощью крыльчатых или чашечных анемометров (Рис 3.4). Крыльчатый анемометр принимается для измерения скорости воздуха до 10 м/с, а чашечный – до 30м/с. Принцип действия анемометров обоих типов основан на том, что частоты вращения крыльчатки тем больше, чем больше скорость движения воздуха. Вращение крыльчатки передается на счетный механизм. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с. Специальный тарировочный паспорт, предлагаемый к каждому прибору позволяет по вычисленной величине делений определить скорость движения воздуха.



Рис 3.4 Чашечный анемометр

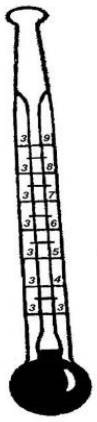


Рис. 3.5 Кататермометр

Скорость движения воздуха в интервале величин от 0.1 до 0.5 м/с можно определить с помощью кататермометра (Рис.3.5). Шаровой кататермометр представляет собой стартовый термометр с двумя резервуарами: шаровым внизу и цилиндрическим вверху. Шкала кататермометра имеет давление от 31 до 41 градуса. Для работы с этим прибором его предварительно нагревают на водяной бане, затем вытирают насухо и помещают в исследуемое место. По величине падения столба спирта в единицу времени на кататермометре при его охлаждении судят о скорости движения воздуха. Для измерения малых скоростей (от 0.03 до 5 м/с) при температуре в производственных помещениях не ниже 10С применяется термоанемометр. Это электрический прибор на полупроводниках, принцип его действия основан на измерении величины сопротивления датчика при изменении температуры и скорости движения воздуха.

Таблица 3.1

Значения относительной влажности

t_c℃	Разность показаний сухого и влажного термометров t_c - t_b℃									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность φ, %									
0	100	81	63	45	28	11				

1	100	83	65	48	32	16				
2	100	84	68	51	35	20				
3	100	84	69	54	39	24	10			
4	100	85	70	56	42	28	14			
5	100	86	72	58	45	32	19	6		
6	100	86	73	60	47	35	23	10		
7	100	87	74	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5

Продолжение табл. 3.1

11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41

28	100	93	85	78	71	65	59	52	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Скорость движения воздуха V, м/с , при замере ее анемометром АСО-3 подсчитывается по формуле

$$V = an + b, \quad (3.7)$$

где n число делений в 1 с; $n = \frac{n_к - n_н}{t_{зам}}$; $n_н$ и $n_к$ – начальный и конечный отсчеты по анемометру; t зам – продолжительность замера по прибору.

При выполнении настоящего практического занятия рекомендуется использовать формулу:

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

5. Гигиеническая оценка результатов расчета параметров микроклимата: производится по санитарным нормам, приведенным в ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 3.2

Оптимальные нормы температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха по рабочей зоне производственных помещений

Период Года	Категория Работ	Температура, ℃	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха м/с не более
Холодный (температура наружного воздуха ниже +10℃)	Легкая – 1	22-24	40-60	0,1
	Легкая – 1б	21-23	40-60	0,1
	Средней тяжести – Па	18-20	40-60	0,2
		17-19	40-60	0,2
	Средней тяжести – Пб	16-18	40-60	0,3
	Тяжелая – III			

Теплый (температура наружного воздуха +10℃ и выше)	Легкая – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легкая – 1б	22-24	40-60	0,2
	Средней тяжести – Па	21-23	40-60	0,3
	Средней тяжести – Пб	20-22	40-60	0,3
	Тяжелая - III	18-20	40-60	0,4

Пример расчета:

Исходный данные: B_n= 87937 Па,$B_{ш}$ = -50 Па, t_c = 22 ℃, t_c = 16 ℃, $\Delta t = -\frac{10Па}{℃}$, $B_{д}$ = +100 Па, $n_{н}$=6000, t зам= 200с, период года – теплый.

Решение:

1. Атмосферное давление на рабочем месте (при температурной поправке)

$$B_{т} = t_c * \Delta t = 22(-10) = -220 \text{ Па}$$

$$B = B_n + B_{ш} + B_{т} + B_{д} = 87837 - 50 - 220 + 110 = 87667 \text{ Па}.$$

2. Скорость движения воздуха по исходным данным, полученным при помощи анемометра АСО-3. При числе давлений в 1с

$$n = \frac{n_{к} - n_{н}}{t_{зам}} = 6040 - \frac{6000}{200} = 0{,}2 \text{ дел/с}$$

Скорость движения воздуха составляет;

$$V = 0{,}45n + 0{,}01 = 0{,}45 * 0{,}2 + 0{,}01 = 0{,}10 \text{ м/с}$$

3. Относительная влажность воздуха по давлению водяного пара. При давлении насыщенного водяного пара при температуре сухого термометра Рн.с = 2644 Па и температуре влажного термометра Р н.в = 1817 Па и парциальном давлении водяного пара в воздухе:

$$P_{в.п} = P_{н.в} - C(t_c - t_{в}) * B = 1817 - 0{,}00074 * (22 - 16) * 87837 = 1427 \text{ Па}$$

относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{P_{\text{в.п}}}{P_{\text{н.с}}} 100 = \frac{1427}{2644} 100 = 54\%$$

3б. Относительная влажность воздуха по плотности (массе) водяного пара. При абсолютной влажности воздуха:

$$A = \frac{1000 * P_{\text{в.п}}}{461{,}5(273 + t_c)} = \frac{1000 * 1527}{461{,}5(273 + 22)} = 10{,}48 \text{ г/м}^3$$

И максимальной влажности воздуха:

$A_{max} = \frac{1000 * P_{\text{н.с}}}{461{,}5(273 + t_{\text{с}})} = \frac{1000 * 2644}{461{,}5(273 + 22)} = 19{,}42$ г/м^{3}относительная влажность воздуха равна:

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} 100 = \frac{10{,}48}{19{,}42} 100 = 54\%$$

3в. Правильность произведенных подсчетов φ подтверждают данные таблицы. При разности показаний сухого и влажного термометров Тс – Тв = 22 – 16 = 6 ℃ относительная влажность воздуха φравна 54%

Варианты заданий

Для выполнения задания даются следующие показатели: отсчет по барометру Вп Температура воздуха по сухому (Тс) и влажному (Тв) термометрам психрометра, начальный (Nн) и конечный (Nк) отсчеты по анемометру, продолжительность замера скорости движения воздуха Тзам, период года (холодный, теплый) Для отсчета скорости движения воздуха использовать формулу

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте полагать равной 50 Вт/м^2. Числовые значения исходных данных приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Числовые значения поправок к барометру

вариант	Вв, Па	Вш, Па	$\Delta t, Па$ /℃	Ва, Па	Тс, ℃	Тв,℃	Nн	Nк	Т зам, ℃	Период года
1	110146	-100	-10	+100	23	18	6000	6246	140	Холодный
2	105752	-100	-10	+100	22	16	6107	6138	155	То же
3	97989	+75	-10	+100	18	13	6357	6407	160	То же
4	90498	+25	-10	+100	17	11	6841	6909	170	То же
5	94232	+150	-10	+100	16	11	6944	7051	200	То же
6	103379	-50	-10	+100	24	17	6107	6387	150	Теплый
7	107509	-100	-10	+100	23	17	6305	6696	187	То же
8	89371	0	-10	+100	22	15	6421	6501	190	То же
9	94263	+150	-10	+100	20	15	6725	6830	175	То же
10	96946	+100	-10	+100	19	12	6100	6176	11	То же

Порядок выполнения работы

1. Расчет и оформление практической работы провести в соответствии с примером расчета. Варианты заданий определяются пр-ем.

2. Результаты расчетов микроклимата на рабочем месте в производственном помещении занести в таблицу.

Таблица 3.4

Пример заполнения таблицы

Температура воздуха		Относительная влажность %		Скорость движения воздуха	
Фактическая данная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам

3. На основании полученных результатов определить категорию работ, в соответствии с периодом года.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под микроклиматом производственных помещений?

2. Опишите характер действия климатических факторов на организм человека.

3. В чем состоит нормирование воздействий климатических факторов на человека?

4. Как определяют давление, температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха?

5. Назовите способы и средства нормализации микроклимата на рабочих местах.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ И БОРЬБА С ИЗБЫТОЧНЫМ ТЕПЛОМ В ШАХТАХ

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Комфортные условия жизнедеятельности», и овладение методикой расчета тепловыделений в выработки глубоких шахт и выбора технических решений по борьбе с избыточным теплом.

Общие сведения. Климатические условия в подземных выработках, особенно в глубоких шахтах, как правило, отличаются от климатических условий на земной поверхности. Микроклимат горных выработок (т. е. действующее в них на организм человека сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха, его давления и температуры окружающих поверхностей) в значительной степени зависит от теплообменных процессов, происходящих на пути движения воздуха. Под воздействием этих процессов температура шахтного воздуха в выработках существенно повышается с увеличением глубины ведения горных работ.

Нагревание воздуха, движущегося по горным выработкам, происходит в результате:

- теплообмена между потоком шахтного воздуха и окружающим выработки массивом горных пород, т. е. охлаждения пород;
- естественного адиабатического сжатия воздуха при движении его вниз по вертикальным и наклонным выработкам;
- изменения содержания влаги в воздухе;
- теплообмена между воздухом и подземной водой, текущей по выработкам;
- окисления угля, угольной пыли, сульфидных руд, крепежного леса и некоторых других веществ;
- охлаждения отбитых и транспортируемых масс угля и породы;
- работы горных машин и механизмов;
- выделения тепла осветительными установками, электрическими кабелями, трубопроводами сжатого воздуха, телом человека, а также действия других второстепенных факторов.
- Вызванное перечисленными факторами приращение температуры шахтного воздуха (оС = К), может быть определено из выражения

$$\Delta t = \frac{\Sigma Q_i}{C_p \rho V}, \qquad (4.1)$$

где ΣQ_i - суммарное количество теплоты, идущее на нагревание воздуха, кДж/ч; C_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; V - объемный расход воздуха, м^3/ч.

Шахтный воздух уже при температуре свыше 25 °С оказывает отрицательное тепловое воздействие на физиологию и гигиену труда подземных рабочих. При задержке отдачи телом человека накопившегося в нем тепла возникает перегрев организма, осложняющий протекание жизненных процессов. Чрезмерный перегрев организма вызывает ухудшение самочувствия человека, приводит к серьезным заболеваниям (в наиболее тяжелых случаях - к тепловому

удару, или стрессу, или даже к смерти), увеличивает вероятность травматизма, снижает производительность труда.

Изменение температуры воздуха (и других параметров микроклимата) в подземных выработках оказывает влияние также на физико-механические свойства горных пород и на безопасное состояние сооружений и выработок.

Расчет выделения теплоты в выработки глубоких шахт ведется по следующим зависимостям.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород. Количество теплоты $Q_{охл}$, кДж/ч, выделяющееся вследствие охлаждения окружающих выработку горных пород, описывается уравнением Ньютона для конвективного теплообмена

$$Q_{охл} = K_\tau P l (t_п - t_в), \quad (4.2)$$

где K_τ - коэффициент нестационарного теплообмена между массивом горных пород и воздухом, кДж/(м^2·ч·К) (рассчитывается по формуле, приводимой ниже); P и l - периметр и длина выработки, м; $t_п$ - естественная температура неохлажденных пород на данной глубине, (^{o}C = K, расчет приводится ниже); $t_в = t_{пб}$ - допустимая температура воздуха в выработке, ^{o}C (принимается согласно Правилам безопасности).

Коэффициент K_τ, кДж/(м^2·ч·К) определяется по формуле

$$K_\tau = \frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э}} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi\alpha\tau(1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э})}}\right], \quad (4.5)$$

где λ - коэффициент теплопроводности породы, кДж/(м·ч·К) (принимается по табл. 3.1); α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи от стен шахтной выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К) (расчет ниже); $R_э$ - эквивалентный радиус выработки, м: $R_э = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.564\sqrt{S}$, a - коэффициент температуропроводности породы, м^2/ч:

$\alpha = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п}$ (принимается по табл. 3.1); $c_п$ - удельная теплоемкость породы, кДж/(кг·К) (принимается по табл. 3.1); $\rho_п$ - плотность породы, кг/м^3 (принимается по табл. 3.1); τ - расчетное время процесса теполообмена, ч (например, при длительности процесса теплообмена 4 года значение $\tau = 4 \cdot 365 \cdot 24 =$ = 35040 ч).

Таблица 4.0

Тепловая характеристика пород

Порода	ρ, кг/м^3	$c_п$, кДж/(кг·К)	λ, кДж/(м·ч·К)	*a*, м^2/ч
Песчаник (Центральный Донбасс)	2475	0,854	9,211	0,00436
Глинистые и песчанистые сланцы (там же)	2450	0,904	6,363	0,00287
Уголь (там же)	1225	1,184	1,051	0,00073
Бурый уголь (Челябинский бассейн)	1210	1,130	0,913	0,00067
Каменный уголь (Карагандинский бассейн)	1275	1,055	0,963	0,00072
Углистый сланец	1765	1,021	3,006	0,00167
Глинистый сланец	2433	0,992	3,354	0.00139
Змеевик	2690	0,950	5,694	0,00223
Гранит	2722	0,917	7,972	0.00319
Серный колчедан (Дегтярское месторождение)	4620	0,908	15,010	0,00358
Медный колчедан (там же)	4716	0,862	15,165	0,00373

Суммарный коэффициент теплоотдачи с поверхности горной выработки α_0, кДж/(м^2·ч·К), находится их выражения

$$\alpha_0 = \alpha_к + \alpha_и,$$

где $\alpha_к$ - конвективный коэффициент теплоотдачи от стен выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К)

$$\alpha_к = 2{,}9 \cdot 4{,}1868 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0{,}2}} = 12{,}14 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0{,}2}}$$

где v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; $Д_э$ - эквивалентный диаметр выработки, м: $Д_э = \frac{4S}{P}$; $\alpha_и$ - коэффициент, учитывающий испарения влаги с мокрых стен выработки, кДж/(м^2·ч·К)

$$\alpha_и = 1{,}3\beta \cdot r\,,$$

где β - коэффициент массоотдачи (коэффициент испарения), кг/(м^2·ч·К), принимается равным 0,01 - для стволов, 0,15 - для капитальных выработок, 0,03 - для лав; r - теплота парообразования воды, принимается r = 2256 кДж/кг.

Температура горных пород в массиве $t_п$, °С, на заданной глубине H, м, от земной поверхности определяется по формулам:

$$t_п = h \cdot t_н + \frac{H - H_0}{Г_{ст}} \text{ или } t_п = h \cdot t_н + (H - H_0)\delta, \qquad (4.6)$$

где $t_п$ - температура пород нейтрального слоя (зоны с постоянной температурой пород) в данной местности; принимается примерно равной среднегодовой температуре воздуха на земной поверхности в данном районе, °С; $t_н$ = 8,5; 2,5; 2,5; 3,0 °С для условий соответственно Донбасса, Кузбасса, Караганды и Мосбасса; H_0 - глубина (толщина) нейтрального слоя, м: H_0 = 20-40 м; $Г_{ст}$ - геотермическая ступень данного района, м/°С: в среднем $Г_{ст}$ составляет для угольных месторождений 30–40 м/ °С, рудных 50-140 м/ °С, нефтяных 15-20 м/ °С; δ - геотермический градиент, °С/м.

2. Тепловыделение при сжатии воздуха. Количество теплоты $Q_{сж}$, кДж/ч, выделяющееся при движении воздуха вниз по вертикальным и наклонным выработкам, определяется выражением

$$Q_{сж} = 9{,}81 \cdot \rho \frac{V_в \cdot H}{1000} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_в \cdot H, \qquad (4.7)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м^3; $V_в$ - количество воздуха, проходящего по выработке (объемный часовой расход воздуха), м^3/ч: $V_в = 3600 \cdot \nu \cdot S$;

v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; S - площадь поперечного сечения выработки, м^2; H - глубина расположения выработки, м; для наклонной выработки

$$H = l_{\text{н}} \cdot sin\ \psi, \tag{4.8}$$

где $l_{\text{н}}$ - длина наклонной выработки; ψ - угол наклона выработки, град.

3. Тепловыделение при окислительных процессах. Количество теплоты $Q_{\text{ок}}$, кДж/ч, образующееся при окислении угля, угленосных сланцев, сульфидных руд и древесины, подсчитывается по формуле А. Ф. Воропаева

$$\text{Q}_{\text{ок}} = \text{q}_{\text{ок}} \cdot \text{V}^{0,8} \cdot \text{P} \cdot \text{l}, \tag{4.9}$$

где $q_{\text{ок}}$ - тепловыделение в результате окислительных процессов, приведенное к скорости движения воздуха в выработке, V = 1 м/с, кДж/(м^2·ч); $q_{\text{ок}}$ можно принимать равным 12-21 кДж/(м^2·ч).

4. Тепловыделение от местных источников. К местным источникам теплоты относят электродвигатели, трансформаторы, светильники, электрические кабели, трубопроводы сжатого воздуха, пневматические двигатели, другие тепловыделяющие машины, механизмы и устройства, а также работы, производимые с применением бетона на участке выработки или в призабойной зоне, когда тепло выделяется при его отвердении.

Расчетные формулы для определения количества теплоты от местных источников имеют следующий вид:

4.1. Тепловыделение при работе ***электродвигателей*** горных машин и освещения $Q_{\text{эд}}$, кДж/ч

$$\text{Q}_{\text{эд}} = \frac{3600 \cdot \text{N}_{\text{потр}} \cdot \text{k}_{\text{з}}}{\eta_{\text{з}}}, \tag{4.10}$$

где $N_{\text{потр}}$ - потребляемая мощность электродвигателей и осветительных установок, кВт; $k_{\text{з}}$ - коэффициент загрузки оборудования во времени: $k_{\text{з}}$ = 0,8; $\eta_{\text{э}}$ - к. п. д. электродвигателя: $\eta_{\text{э}}$ = 0,95.

4.2. Тепловыделение в выработку (ствол, уклон, бремсберг и др.) при эксплуатации ***лебедок*** $Q_л$, кДж/ч:

- при подъеме груза лебедкой $Q_{лп} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з(1 - \eta_м)$;

- при спуске груза лебедкой $Q_{лс} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з$.

где $N_л$ - установленная мощность электродвигателя лебедки, кВт; $\eta_м$ - механический к. п. д.: $\eta_м = 0,8$.

4.3. Тепловыделение при работе ***трансформатора*** $Q_{тр}$, кДж/ч

$$Q_{тр} = 3600 \cdot N_{тр} \cdot p_{тр}, \quad (4.11)$$

где $N_{тр}$ - мощность трансформатора, кВт; $p_{тр}$ - тепловые потери трансформатора: $p_{тр} = 0,04 \div 0,05$.

4.4. Тепловыделение при затвердевании монолитной ***бетонной крепи*** $Q_б$, кДж/ч

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц, \quad (4.12)$$

где $q_б$ - удельное выделение теплоты при отвердевании бетона, кДж/(м^2·ч); принимается $q_б$ = 200÷400 кДж/(м^2/ч); P - периметр выработки, м; $l_ц$ - длина участка бетонирования, контактирующего с вентиляционной струей за один цикл проходки, м.

4.5. Тепловыделение при ***взрыве ВВ***. В выработке большого сечения при использовании более 100 кт ВВ тепловыделение при взрыве $Q_{взр}$, кДж/ч, рассчитывается по формуле

$$Q_{взр} = 0,8 \cdot q_{взр} \cdot m_з, \quad (4.13)$$

где $q_{взр}$ - удельное тепловыделение при взрыве 1 кг ВВ, кДж/кт; $m_з$ - масса заряда, кг.

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения $q_{взр}$ для применяемых ВВ

Аммонит ПЖВ-20	3360		Аммонит АП-5ЖВ	3780

Угленит Э-6	2570		Аммонит скальный №1	5400
Победит ВП-4	3810		Аммонит № 6 ЖВ	4290
Аммонит АП-4ЖВ	3560		Игданит	3790

4.6. Тепловыделение при работе шахтных ***вентиляторов*** происходит в результате работы электродвигателя, внутренних потерь энергии в вентиляторе и аэродинамического сжатия воздуха. Количество теплоты $Q_{вен}$, кДж/ч, поступающее в выработку при работе вентилятора, выражается формулой

$$\mathrm{Q_{вен}} = 3600 \cdot \mathrm{V_{вс}} \frac{\mathrm{h_в}}{1000\eta_{ву}} = 3{,}6 \cdot \mathrm{V_{вс}} \frac{\mathrm{h_в}}{\eta_{ву}}, \quad (4.14)$$

где $V_{вс}$ - количество воздуха, проходящего по выработке (секундный расход), м^3/с; $h_в$ - депрессия выработки, Па;

$$\mathrm{h_в} = \alpha_в \cdot \mathrm{P} \cdot \mathrm{l} \frac{v^2}{\mathrm{S}}, \quad (4.15)$$

где $\alpha_в$ - коэффициент аэродинамического сопротивления трения выработки, Н·с^2/м^4 = Па· с^2/м^2; P, l, S - периметр, длина и площадь поперечного сечения выработки, м, м, м^2; v - средняя скорость движения воздуха по выработке, м/с;

$$\eta_{ву} = \eta_в \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п, \quad (4.16)$$

$\eta_в$ = 0,6÷0,8; $\eta_{дв}$ = 0,85÷0,95 и $\eta_п$ - к. п. д. соответственно вентиляторной установки, вентилятора, двигателя и редукторной ($\eta_п$ = 1) или ременной ($\eta_п$ = = 0,9÷0,95) передач.

Подставляя (4.15) в (4.16) и учитывая, что

$$V_{вс} = v \cdot S \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.17)$$

получим (кДж/ч)

$$Q_{вен} = 3{,}6 \cdot \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^3}{\eta_{ву}}. \quad (4.18)$$

4.7. Тепловыделение при работе ***людей*** $Q_л$, кДж/ч

$$Q_л = q_л \cdot n_л, \quad (4.19)$$

где $q_л$ - количество теплоты, выделяемое работающим человеком, кДж/ч·чел $q_л$ = 1050÷2500 кДж/ч·чел.; $n_л$ - число одновременно работающих людей в выработке.

5. Общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$, кДж/ч, находится суммированием всех частных выделений теплоты

$$Q_{общ} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (4.20)$$

Способы искусственного охлаждения шахтного воздуха

Целью искусственного охлаждения шахтного воздуха является отвод определенного («излишнего») количества теплоты от него при помощи охлаждающего вещества. Тепло от воздуха можно отвести путем соприкосновения последнего с какой-либо холодной поверхностью или путем смешения его с газообразной струей, имеющей температуру ниже температуры воздуха.

Борьба с избыточным выделением теплоты в горные выработки ведется по нескольким направлениям:

- предохранение воздуха от нагревания при его движении к местам потребления;
- охлаждение воздуха без применения специальных холодильных машин;
- охлаждение воздуха с применением холодильных машин (кондиционирование).

Способы предупреждения нагревания шахтного воздуха включают в себя следующее:

- увеличение количества подаваемого в выработки воздуха путем повышения мощности вентиляторных установок, увеличения скорости движения воздуха, расширения сечений воздухоподающих выработок;

- замена машин с электроприводам машинами с пневматическим приводом;
- тепло- и гидроизоляция стен выработок;
- теплоизоляция и тщательное уплотнение воздухоподающих трубопроводов;
- предупреждение возникновения интенсивных окислительных процессов;
- сокращение пути движения воздуха к местам потребления путем выбора соответствующей схемы проветривания, проведения дополнительных выработок и скважин;
- подача воздуха к местам потребления по специально пройденным выработкам, где скорость движения воздуха может быть существенно увеличена;
- замена восходящего проветривания очистных выработок нисходящим проветриванием (при соблюдении соответствующих требований ПБ).

Для предотвращения нагревания воздуха без применения холодильных машин используются следующие способы:

- осушение воздуха сорбентами, т. е. веществами, способными поглощать влагу из воздуха (например, хлористым кальцием);
- охлаждение воздуха льдом;
- охлаждение воздуха жидким воздухам, при испарении которого поглощается значительное количество теплоты;
- охлаждение воздуха сжатым воздухам (например, от пневмо-кондиционеров);
- охлаждение воздуха водой: путем непосредственного соприкосновения охлаждающей воды с воздухом либо через поверхность труб, где воздух охлаждается в специальных теплообменниках;

- пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы путем подвода воздуха к стволу по горизонтальным выработкам, пройденным на глубине среднегодовой температуры.

Наиболее эффективным является искусственное охлаждение воздуха в системах кондиционирования: в компрессорных и абсорбционных холодильных установках. Холодильные установки бывают передвижные и стационарные. Передвижные установки предназначены для охлаждения воздуха в тупиковых выработках или в отдаленных очистных забоях. Стационарные установки располагаются как на земной поверхности, так и в подземных условиях.

Хладопроизводительность (холодильная мощность) **отечественных шахтных холодильных агрегатов и кондиционеров составляет:**

- передвижных кондиционеров ВК-230 - 230 кВт, КПШ-3 – 105 кВт, КПШ-40 - 47 кВт, КПШ-40П с пневмоприводом - 52 кВт;
- турбокомпрессионных холодильных машин ШХТМ-1300 - 1500 кВт, ХТМФ-235М-2000 - 2325 кВт, ХТМФ-248-4000 - 4650 кВт;
- поршневой холодильной машины МФ-220-1РШ - 255 кВт;
- абсорбционной холодильной машины АБХА-2500-2В – 2800 кВт.

Для стационарной работы на поверхности используются машины ХТМФ-235-2000, ХТМФ-248-4000, АБХА-2500-2В, а машины ШХТМ-1300 и МФ-220-1РШ устанавливаются на глубоких горизонтах.

Охлаждение шахтного воздуха с применением холодильных машин становится необходимым, когда общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$ превышает тепловыделение в нее, допускаемое Правилами безопасности, $Q_{пб}$, т. е. при условии

$$Q_{общ} > Q_{пб}.$$

Поскольку эти количества теплоты описываются формулами:

$Q_{общ} = c_р \cdot \rho \cdot V_{теп} \cdot (t_{пб} - t_н)$ и $Q_{пб} = c_р \cdot \rho \cdot V_в \cdot (t_{пб} - t_н)$,

то критерий необходимости кондиционирования воздуха в выработке может быть записан в виде соотношения

$$V_{\text{теп}} > V_{\text{в}},$$

где $V_{\text{теп}}$ - количество воздуха, которое необходимо подать в выработку по тепловому фактору без охлаждения воздуха, м^3/ч;

$$\mathrm{V_{теп}} = \frac{\mathrm{Q_{общ}}}{\mathrm{c_р \cdot \rho \cdot \Delta t}}, \qquad (4.21)$$

где $c_{\text{р}}$ - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К) $c_{\text{р}}$ = 0,241 ккал/(кг·К)·4,1868 кДж/ккал = 1,009 кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; Δt - перепад температур между выходящим (отработанным) и входящим (свежим) воздухам, проходящим по выработке, К (°С):

для стволов $\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$, для подземных выработок $\Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{в}}$.

При необходимости кондиционирования воздуха следует выбрать тип кондиционера, рассчитать потребное количество кондиционеров и проверить правильность их установки.

Требуемая хладопроизводительность кондиционера $N_{\text{к}}'$, кВт, находится по формуле

$$N_{\text{к}}^{/} = \frac{c_h \cdot \rho \cdot V_d (t_{\text{н}} - t_{\text{пб}})}{3600} \qquad (4.22)$$

К установке принимают кондиционер хладопроизводительностью

$$N_K \geq N_K^{/}$$

При установке кондиционера в выработке (обычно одного) температура смеси за кондиционером $t_{\text{см}}$, °С (=К), определяется соотношением

$$\mathrm{t_{см}} = \mathrm{t_п} - 3600\,\frac{\mathrm{N_К}}{\mathrm{C_р \cdot \rho \cdot V_в}} \qquad (4.23)$$

Достаточность установки кондиционера проверяется по условию

$$t_{\text{см}} < t_{\text{в}}$$

Если $t_{\text{см}} > t_{\text{в}}$, то необходимо установить более мощный кондиционер.

Пример расчета. Исходные данные:

выработка - ствол шахты,

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 38{,}5$ м^2,

$r_э = 3{,}5$ м,

$d = d_э = 7$ м,

$P = \pi \cdot d = 22$ м,

$l = H = 1200$ м,

$\alpha = 0^o$,

$H_0 = 20$ м,

$\delta = \frac{1}{\Gamma_{ст}} = 0{,}035$ м/^{o}C,

порода - песчаник,

$\rho_п = 2400$ кг/м^3,

$c_п = 0{,}858$ кДж/(кг·К),

$\lambda = 9{,}21$ кДж/(м·ч·К),

$a = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п} = 0{,}00477$ м^2/ч,

v = 2 м/с,

$\tau = 7$ лет $= 7 \cdot 365 \cdot 24 = 61320$ ч,

$t_н = 8{,}5$ ^{o}C,

$t_в = t_{пб} = 24$ ^{o}C,

$N_{потр} = 100$ кВт,

$N_п = 90$ кВт,

$\alpha_6 = 0{,}0040$ кгс·с^2/м^4 =

$= 0{,}0392$ Па· с^2/м^2,

$N_{тр} = 100$ кВт,

$n = 7$ человек.

Для обеспечения возможности выполнения расчета тепловыделений по приведенным выше формулам принимаем дополнительно следующие данные (параметры):

$\beta = 0{,}01$ кг/(м^2·ч·К),

$r = 2256$ кДж/кг,

$\rho = 1{,}25$ кг/м^3,

$q_{ок} = 16$ кДж/(м^2·ч),

$\kappa_з = 0{,}8$,

$\eta_{дв} = 0{,}95$,

$P_{тр} = 0{,}05$,

$q_б = 200$ кДж/(м^2·ч),

$l_ц = 5$ м,

$q_п = 2000$ кДж/(ч·чел),

$\eta_{ву} = \eta_у \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п = 0{,}7 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95 = 0{,}56$,

$c_р = 1{,}009$ кДж/(кг·К).

Подсчитываем количества теплоты, выделяющиеся в выработку.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород

$$\alpha_k = 12.4 \cdot \frac{V^{0.8}}{d_э^{0.2}} = 12.4 \cdot \frac{2^{0.8}}{7^{0.2}} = 14.32, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К;}$$

$$\alpha_и = 1.3 \cdot \beta \cdot r = 1{,}3 \cdot 0{,}001 \cdot 2256 = 29{,}33, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_и = 14{,}32 + 29{,}33 = 43{,}65, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$K_\tau = \frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau}\left(1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}\right)}\right] = \frac{9{,}211}{1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot 3{,}5} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 0{,}00447 \cdot 61320}\left(1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}\right)}\right] = 1{,}57, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$t_п = t_Н + (H - H_0)\delta = 8{,}5 + (1200 - 20)0{,}035 = 50 \text{ °C;}$$

$$Q_{охл} = K_\tau \cdot P \cdot l(t_п - t_в) = 1{,}57 \cdot 22 \cdot 1200(50 - 24) = 107764 \text{ кДж/ч.}$$

2. Тепловыделение при сжатии шахтного воздуха

$$V_и = 3600 \cdot v \cdot S = 3600 \cdot 2 \cdot 38{,}5 = 277200 \text{ м}^3\text{/ч;}$$

$$Q_{сж} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_В \cdot H = 0{,}00981 \cdot 1.25 \cdot 277200 \cdot 1200 = 4078998 \text{ кДж/ч.}$$

3. Тепловыделение при окислительных процессах

$$Q_{ОК} = q_{ОК} \cdot V^{0{,}8} \cdot P \cdot l = 16 \cdot 2^{0{,}8} \cdot 22 \cdot 1200 = 735441 \text{ кДж/ч.}$$

4. Тепловыделение от местных источников:

- при работе электродвигателей горных машин и освещения

$$Q_{ЭД} = \frac{3600 \cdot N_{потр} \cdot K_з}{\eta_{ДВ}} = \frac{3600 \cdot 100 \cdot 0{,}8}{0{,}95} = 303158 \text{ кДж/ч;}$$

- при спуске груза лебедкой

$$Q_{ЛС} = 3600 \cdot N_п \cdot K_з = 3600 \cdot 90 \cdot 0{,}8 = 259200 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе трансформатора

$$Q_{ТР} = 3600 \cdot N_{ТР} \cdot P_{ТР} = 3600 \cdot 100 \cdot 0{,}5 = 18000 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе шахтных вентиляторов

$$Q_{ВЕН} = 3{,}6 \cdot \alpha_В \cdot P \cdot l \frac{V^3}{\eta_{ВУ}} = 3{,}6 \cdot 0{,}0392 \cdot 22 \cdot 1200 \frac{2^3}{0{,}565} = 52751 \text{ кДж/ч;}$$

- при затвердевании монолитной бетонной крепи

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц = 200 \cdot 22 \cdot 5 = 22000 \text{ кДж/ч};$$

- при работе людей

$$Q_Л = q_л \cdot n_л = 2000 \cdot 7 = 14000 \text{ кДж/ч}.$$

5. Общее тепловыделение в ствол

$$Q_{общ} = \sum_{i-1}^{n} Q_i = Q_{охл} + Q_{сж} + Q_{ок} + Q_{эд} + Q_{лс} + Q_{тр} + Q_{вен} + Q_б + Q_л =$$

$$1077648 + 4078998 + 735441 + 303158 + 259200 + 18000 + 52751 +$$

$$22000 + 14000 = 6561196 \text{ кДж/ч}.$$

Находим количество воздуха, необходимое для проветривания выработки по тепловому фактору без охлаждения воздуха

$$V_{теп} = \frac{Q_{общ}}{C_p \cdot \rho (t_{пб} - t_H)} = \frac{6561196}{1{,}009 \cdot 1{,}25(24-8{,}5)} = 335611 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Проверяем условие достаточности расхода воздуха по тепловому фактору $V_{теп} \langle V_в$.

В рассматриваемом случае это условие не выполняется, так как

$$V_{теп} = 335611 < V_В = 277200$$

Следовательно, требуется искусственное охлаждение воздуха при помощи холодильных машин.

Определяем требуемую хладопроизводительность холодильной машины

$$N_k = \frac{C_p \cdot \rho \cdot V_В (t_П - t_{пб})}{3600} = \frac{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200 (50-24)}{3600} = 2525 \text{ кВт}.$$

Принимаем $N_к$ = 2550 кВт. Температура смеси теплого и охлажденного воздуха за кондиционером составит

$$t_{см} = t_п - \frac{3600 \cdot N_k}{c_p \cdot \rho \cdot V_B} = 50 - \frac{3600 \cdot 2550}{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200} = 23{,}7 \ ^\circ$$

что удовлетворяет требованиям ПБ.

Варианты заданий

Перечень вариантов заданий к расчету тепловыделений в горные выработки приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчетов тепловыделений

	Величины	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Выработка	Штрек		Уклон		Квершлаг		Бремберг		Ствол	
2	S, м^2	8	10	7	6	12	14	10	12	44,2	33,2
3	P, м	11,8	13,2	11,0	10,2	14,4	15,6	13,2	14,4	23,6	20,4
4	L, м	900	1000	300	500	700	600	1000	900	1100	1200
5	α, °	6	8	40	50	10	8	15	20	90	90
6	H, м	800	900	600	700	1000	800	1200	1500	1100	1200

Продолжение табл. 4.2

7	H_0, м	20	21	22	23	24	25	30	35	28	30
8	$\Gamma_{ст}$, м/°С	30	25	26	27	31	29	32	28	34	27
9	Порода	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Песчаник	Песчаник	Каменный уголь	Каменный уголь	Глинистый и песчанистый сланец	Песчаник
10	V, м/с	0,5	0,75	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	1,0	0,5
11	τ, м/с	3	2	6	8	5	9	10	7	6	4
12	$t_н$, °С	8,5	2,5	3,0	2,5	7,5	8,3	7,9	4,2	8,0	7,5
13	$t_в = t_{пб}$, °С	24	23	20	25	23	25	24	26	24	23
14	$N_{потр}$, кВт	70	60	50	40	100	90	50	50	100	100
15	$N_л$, кВт	-	-	50	50	-	-	-	-	-	100
16	$N_{тр}$, кВт	5	10	-	-	5	5	5	5	10	10
17	$\alpha_в$, Па·с^2/м^2	0,017	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,020	0,049	0,049

18	$n_л$, чел.	7	6	3	3	6	5	6	6	5	8

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте климатические условия в горных выработках глубоких шахт.

2. Как осуществляется теплоотдача тела человека в окружающую среду?

3. Какой микроклимат в выработках глубоких шахт считается допустимым?

4. Перечислите виды (формы) нагревания воздуха, движущегося по горным выработкам.

5. Как выполняется тепловое кондиционирование воздуха в горных выработках?

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. ЦВЕТА СИГНАЛЬНЫЕ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы – ривить практические навыки в применении сигнальных цветов и знаков безопасности; изучить назначение, характеристики и порядок применения сигнальных цветов и знаков безопасности.

Теоретические положения.

Для предупреждения многих несчастных случаев на производстве и в быту эффективным средством является цветовое оформление машин, приборов, помещений и рациональное применение сигнальных цветов и знаков безопасности, которые устанавливает ГОСТ Р 12.4.026–01 [1].

Различают прямое психологическое воздействие цвета на челове- ка, вызывающее, например, чувство радости или печали, создающее впе- чатление легкости или тяжести какого-либо предмета, удаленности или близости его, и вторичное воздействие, связанное с ассоциациями. Напри- мер, красный, оранжевый и желтый цвета ассоциируются с огнем, солн- цем, т. е. теплом. Такие цвета создают впечатление тепла и называются те- плыми цветами. Белый, голубой, зеленый и некоторые другие цвета ассо- циируются с холодом и называются холодными цветами.

Сигнальные цвета применяются для окраски поверхностей конст- рукций, приспособлений и элементов производственного оборудования, которые могут служить источником опасности для работающих.

ГОСТом установлены красный, желтый, зеленый и синий сигналь- ные цвета. Для усиления контраста сигнальных цветов они применяются на фоне контрастных цветов. Контрастные цвета применяются также для выполнения символов и поясняющих надписей.

Красный сигнальный цвет применяется: для запрещающих знаков; надписей и символов на знаках пожарной безопасности, обозначений от- ключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных; внут-

ренних поверхностей открывающихся кожухов и корпусов, ограждающих движущиеся элементы механизмов и машин и их крышек; рукояток кранов аварийного сброса давления; корпусов масляных выключателей, находя- щихся в рабочем состоянии под напряжением, и обозначения пожарной техники.

Желтый сигнальный цвет используется: для предупреждающих знаков элементов строительных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм (низкие балки, выступы и перепады в полости пола, малозаметные ступени, пандусы), мест, в которых существует опасность падения, сужений проездов, колонн, стоянок и опор производствен- ного оборудования (открытые движущиеся части оборудования); кромок штампов, прессов, ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, и т. п. элементов внутрицехового и межцехового транспорта, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, кабин и ограждений кранов, боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек и постоянных и временных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных и временных ограждений лестниц, перекрытий строящихся зданий; балконов и других мест, где возможно падение с высоты, емкостей, содержащих вещества с опасными и вредными свойствами, на которые предупреждающую окраску наносят в виде полосы шириной 50–100 мм в зависимости от размещения емкости; границ подходов к эвакуационным или запасным выходам.

Зеленый сигнальный цвет применяется для предписывающих знаков дверей и светового табло эвакуационных или запасных выходов, сигнальных ламп.

Синий сигнальный цвет используется для указательных знаков. Символ на знаках безопасности – это простое, всем понятное изображение характера опасности, мер предосторожности, инструктивных указаний или информации по безопасности. Знаки должны быть установлены в местах, пребывание в которых

связано с возможной опасностью для работающих, а также на производственном оборудовании, являющемся источником такой опасности. Знаки безопасности, устанавливаемые на воротах и входных дверях помещений, обозначают, что зона их действия – все помещение. При необходимости ограничения зоны действия знака приводятся соответствующие указания с вышеуказанным ГОСТом. Они контрастно выделются на окружающем их фоне и находятся в поле зрения людей, для которых предназначены. На местах и участках, являющихся временно опасными, устанавливаются переносные знаки и временные ограждения, окрашенные в сигнальный цвет. Всего предусмотрено четыре группы знаков безопасности:

1 запрещающий (в виде круга);

2 предупреждающий (в виде треугольника);

3 предписывающий (в виде квадрата);

4 указательный (в виде вертикального прямоугольника).

Для более полного усвоения формы символов на знаках и мест их установки следует дополнительно изучить раздел 3 ГОСТ Р 12.4.026-01 [1]. Для этого ниже дается необходимая выдержка из данного ГОСТа.

Стандарт не распространяется:

- на цвета, применяемые для световой сигнализации всех видов транспорта, транспортных средств и дорожного движения;
- цвета, знаки и маркировочные щитки баллонов, трубопроводов, емкостей для хранения и транспортирования газов и жидкостей;
- дорожные знаки и разметку, путевые и сигнальные знаки железных дорог, знаки для обеспечения безопасности движения всех видов транспорта (кроме знаков безопасности для подъемно-транспортных меха- низмов, внутризаводского, пассажирского и общественного транспорта);
- знаки и маркировку опасных грузов, грузовых единиц, требующих специальных условий транспортирования и хранения;
- знаки для электротехники.

Назначение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки состоит в обеспечении однозначного понимания определенных требований, касающихся безопасности, сохранения жизни и здоровья людей, снижения материального ущерба без применения слов или с их минимальным количеством.

Сигнальные цвета, знаки безопасности и сигнальную разметку следует применять для привлечения внимания людей, находящихся на производственных, общественных объектах и в иных местах, к опасности, опасной ситуации, предостережения в целях избегания опасности, сообщения о возможном исходе в случае пренебрежения опасностью, предписания или требования определенных действий, а также для сообщения необходимой информации.

Применение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки на производственных, общественных объектах и в иных местах не заменяет необходимости проведения организационных и технических мероприятий по обеспечению условий безопасности, использования средств индивидуальной и коллективной защиты, обучения и инструктажа по технике безопасности.

Размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах должна проводить организация-изготовитель. При необходимости дополнительное размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах, находящихся в эксплуатации, проводит эксплуатирующая их организация.

Графические символы и поясняющие надписи на знаках безопасности отраслевого назначения, не предусмотренные настоящим стандартом, необходимо устанавливать в отраслевых стандартах, нормах, правилах с соблюдением требований настоящего стандарта.

Назначение и правила применения сигнальных цветов.

Стандарт устанавливает следующие сигнальные цвета: красный, желтый, зеленый, синий. Для усиления зрительного восприятия цветографических изображений знаков безопасности и сигнальной разметки сигнальные цвета следует применять в сочетании с контрастными цветами – белым или черным. Контрастные цвета необходимо использовать для выполнения графических символов и поясняющих надписей.

Сигнальные цвета необходимо применять:

- для обозначения поверхностей, конструкций (или элементов конструкций), приспособлений, узлов и элементов оборудования, машин, механизмов и т. п., которые могут служить источниками опасности для лю- дей, поверхности ограждений и других защитных устройств, систем бло- кировок и т. п.;
- обозначения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов;
- знаков безопасности, сигнальной разметки, планов эвакуации и других визуальных средств обеспечения безопасности;
- светящихся (световых) средств безопасности (сигнальные лампы, табло и др.);
- обозначения пути эвакуации.

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета установлены в табл. 5.0.

Красный сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения отключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных;
- внутренних поверхностей крышек (дверец) шкафов с открытыми токоведущими элементами оборудования, машин, механизмов и т. п. (если оборудование, машины, механизмы имеют красный цвет, то внутренние поверхности крышек (дверец) должны быть окрашены лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета);

- рукояток кранов аварийного сброса давления;

- корпусов масляных выключателей, находящихся в рабочем состоянии под напряжением;

- обозначения различных видов пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов, требующих оперативного опознания (пожарные машины, наземные части гидрант-колонок, огнетушители, баллоны, устройства ручного пуска систем (установок) пожарной автоматики, средств оповещения, телефоны прямой связи с пожарной охраной, насосы, пожарные стенды, бочки для воды, ящики для песка, а также ведра, лопа- ты, топоры и т. п.);

- окантовки пожарных щитов белого цвета для крепления пожарного инструмента и огнетушителей. Ширина окантовки – 30–100 мм (допускается выполнять окантовку пожарных щитов в виде чередующихся наклонных под углом 45–60° полос красного сигнального и белого контра- стного цветов);

- орнаментовки элементов строительных конструкций (стены, колонны) в виде отрезка горизонтально расположенной полосы для обозначения мест нахождения огнетушителя, установки пожаротушения с ручным пуском, кнопки пожарной сигнализации и т. п. Ширина полос – 150–300 мм. Полосы должны располагаться в верхней части стен и колонн на высоте, удобной для зрительного восприятия с рабочих мест, проходов и т. п. В состав орнаментовки, как правило, следует включать знак пожарной безопасности с соответствующим графическим символом средства противопожарной защиты;

- сигнальных ламп и табло с информацией, извещающей о нару- шении технологического процесса или нарушении условий безопасности:

«Тревога», «Неисправность» и др.;

- обозначения захватных устройств промышленных установок и промышленных роботов;

Таблица 5.0

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета

Сигнальный цвет	Смысловое значение	Область применения	Контрастный цвет
Красный	Непосредственная опасность Аварийная или опасная ситуация Пожарная техника, средства противо-пож. защиты, их элементы	Запрещение опасного поведения или действия.Обозначение непо-средственной опасности Сообщение об аварийном отключении или аварийном состоянии оборудования (техноло- гического процесса) Обозначение и определение мест нахождения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов	Белый
Желтый	Возможная опас-ность	Обозначение возможной опасно- сти, опасной ситуации. Преду- преждение о возможной опасно-сти	Черный
Зеленый	Безопасность, безопасные усло-вия	Сообщение о нормальной работе оборудования, нормальном со- стоянии технологического про-цесса	Белый
	Помощь, спасение	Обозначение пути эвакуации, аптечек, кабинетов, средств по оказанию первой медицинской помощи	
Синий	Предписание во избежание опасно-сти	Требование обязательных дейст- вий в целях обеспечения безо-пасности	Белый
	Указание	Разрешение определенных дей-ствий	

- обозначения временных ограждений или элементов временных ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, терри- торий,

ям, котлованов, временных ограждений мест химического, бактериологического и радиационного загрязнения, а также ограждений других мест, зон, участков, вход на которые временно запрещен.

Поверхность временных ограждений должна быть целиком окра- шена красным сигнальным цветом или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы красного сигнального и белого контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос крас- ного и белого цветов от 1:1 до 1,5:1,0;

- запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности.

Не допускается использовать красный сигнальный цвет:

- для обозначения стационарно устанавливаемых средств противопожарной защиты (их элементов), не требующих оперативного опознания (пожарные извещатели, пожарные трубопроводы, оросители установок пожаротушения и т. п.);

- на пути эвакуации во избежание путаницы и замешательства (кроме запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности).

Желтый сигнальный цвет следует применять:

а) для обозначения элементов строительных и иных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм работающими: низких балок, выступов и перепадов в плоскости пола, малозаметных ступеней, пандусов, мест, в которых существует опасность падения (кромки погрузочных платформ, грузовых поддонов, неогражденных площадок, люков, проемов и т. д.), сужений проездов, малозаметных распорок, узлов, колонн, стоек и опор в местах интенсивного движения внутризаводского транспорта и т. д.;

б) обозначения узлов и элементов оборудования, машин и механизмов, неосторожное обращение с которыми представляет опасность для людей: открытых движущихся узлов, кромок оградительных устройств, не полностью закрывающих движущиеся элементы (шлифовальные круги, фрезы, зубчатые

колеса, приводные ремни, цепи и т. п.), ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, а также постоянно подвешенных к потолку или стенам технологической арматуры и механизмов, выступающих в рабочее пространство;

в) обозначения опасных при эксплуатации элементов транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, площадок грузоподъемников, бамперов и боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек, поворотных платформ и боковых поверхностей стрел экскаваторов, захватов и площадок автопогрузчиков, рабочих органов сельскохозяйственных машин, элементов грузоподъемных кранов, обойм грузовых крюков и др.;

г) подвижных монтажных устройств, их элементов и элементов грузозахватных приспособлений, подвижных частей кантователей, траверс, подъемников, подвижных частей монтажных вышек и лестниц;

д) внутренних поверхностей крышек, дверец, кожухов и других ограждений, закрывающих места расположения движущихся узлов и элементов оборудования, машин, механизмов, требующих периодического доступа для контроля, ремонта, регулировки и т. п.

Если указанные узлы и элементы закрыты съемными ограждениями, то окрашиванию лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета подлежат сами движущиеся узлы, элементы и (или) поверхности смежных с ними неподвижных деталей, закрываемые ограждениями;

е) постоянных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий: у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных ограждений лестниц, балконов, перекрытий и других мест, в которых возможно падение с высоты.

Поверхность ограждения должна быть целиком окрашена лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

ж) обозначения емкостей и технологического оборудования, содержащих опасные или вредные вещества.

Поверхность емкости должна быть целиком окрашена лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 50–300 мм в зависимости от размера емкости при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

з) обозначения площадей, которые должны быть всегда свободными на случай эвакуации (площадки у эвакуационных выходов и подходы к ним, возле мест подачи пожарной тревоги, возле мест подхода к средствам противопожарной защиты, средствам оповещения, пунктам оказания первой медицинской помощи, пожарным лестницам и др.).

Границы этих площадей должны быть обозначены сплошными линиями желтого сигнального цвета, а сами площади – чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина линий и полос – 50 – 100 мм;

и) предупреждающих знаков безопасности.

На поверхность объектов и элементов, перечисленных в а) и в), допускается наносить чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 50– 300 мм в зависимости от размера объекта и расстояния, с которого должно быть видно предупреждение.

Если оборудование, машины и механизмы окрашены лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета, то перечисления б) и д), их узлы и элементы должны быть обозначены чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм в зависимости от размера узла (элемента) оборудования при

соотношении ширины полос желтого и черного цветов от 1:1 до 1,5:1,0.

Для строительно-дорожных машин и подъемно-транспортного оборудования, которые могут находиться на проезжей части, допускается применять предупреждающую окраску в виде чередующихся красных и белых полос.

Синий сигнальный цвет следует применять:

- для окрашивания светящихся (световых) сигнальных индикаторов и других сигнальных устройств указательного или разрешающего назначения;
- предписывающих и указательных знаков безопасности.

Зеленый сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения безопасности (безопасных мест, зон безопасного состояния);
- сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы оборудования, нормальном состоянии технологических процессов и т. п.;
- обозначения пути эвакуации;
- эвакуационных знаков безопасности и знаков безопасности медицинского и санитарного назначения.

Характеристики сигнальных и контрастных цветов.

Знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в поле зрения людей, для которых они предназначены.

Знаки безопасности должны быть расположены таким образом, чтобы они были хорошо видны, не отвлекали внимания и не создавали неудобств при выполнении людьми своей профессиональной или иной деятельности, не загораживали проход, проезд, не препятствовали перемещению грузов.

Знаки безопасности, размещенные на воротах и на (над) входных(ми) дверях(ми) помещений, означают, что зона действия этих знаков распространяется на всю территорию и площадь за воротами и дверями.

Размещение знаков безопасности на воротах и дверях следует выполнять таким образом, чтобы зрительное восприятие знака не зависело от положения

ворот или дверей (открыто, закрыто). Эвакуационные знаки безопасности Е 22 «Выход» и Е 23 «Запасный выход» должны размещаться только над дверями, ведущими к выходу.

Знаки безопасности, установленные у въезда (входа) на объект (участок), означают, что их действие распространяется на объект (участок) в целом.

При необходимости ограничить зону действия знака безопасности соответствующее указание следует приводить в поясняющей надписи на дополнительном знаке.

Знаки безопасности, изготовленные на основе несветящихся материалов, следует применять в условиях хорошего и достаточного освеще- ния.

Знаки безопасности с внешним или внутренним освещением следует применять в условиях отсутствия или недостаточного освещения.

Световозвращающие знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в местах, где отсутствует освещение или имеется низкий уровень фонового освещения (менее 20 лк по СНиП 23-05-95): при проведении работ с использованием индивидуальных источников света, фонарей (например, в туннелях, шахтах и т. п.), а также для обеспечения безопасности при проведении работ на дорогах, автомобильных трассах, в аэропортах и т. п.

Фотолюминесцентные знаки безопасности следует применять там, где возможно аварийное отключение источников света, а также в качестве элементов фотолюминесцентных эвакуационных систем для обеспечения самостоятельного выхода людей из опасных зон в случае возникновения аварий, пожара или других чрезвычайных ситуаций.

Для возбуждения фотолюминесцентного свечения знаков безопасности необходимо наличие в помещении, где они установлены, искусст- венного или естественного освещения.

Освещенность поверхности фотолюминесцентных знаков безопасности источниками света должна быть не менее 25 лк.

Основные и дополнительные знаки безопасности.

Основные знаки безопасности необходимо разделять на следующие группы: запрещающие знаки; предупреждающие знаки; знаки пожарной безопасности; предписывающие знаки; эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения; указательные знаки.

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности должны соответствовать приведенным в табл. 5.1

Таблица 5.1

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности

Группа	Геометрическая форма <*>	Сигнальный цвет	Смысловое значение
Запрещающие знаки	Круг с поперечной полосой	Красный	Запрещение опасного пове- дения или действия
Предупреждающие знаки	Треугольник	Желтый	Предупреждение о возмож- ной опасности. Осторож- ность. Внимание
Предписывающие знаки	Круг	Синий	Предписание обязательных действий во избежание опасности
Знаки пожарной безопасности <**>	Квадрат или прямоугольник	Красный	Обозначение и указание мест нахождения средств проти- вопожарной защиты, их эле- ментов
Эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения	Квадрат или прямоугольник	Зеленый	Обозначение направления движения при эвакуации. Спасение, первая помощь при авариях или пожарах. Надпись, информация для обеспечения безопасности
Указательные знаки	Квадрат или прямоугольник	Синий	Разрешение. Указание. Над- пись или информация

Примечание: <*> Рисунки не приводятся. <**> К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: P 01 «Запрещается курить», P 02 «Запрещается пользо- ваться открытым огнем», P 04 «Запрещается тушить водой», P 12 «Запрещается загромождать проходы (или) складировать» (табл. 5.2);

- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества», W 02 «Взрывоопасно», W 11

«Пожароопасно. Окислитель» (табл. 5.3).

Таблица 5.2

Запрещающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 01		Запрещается курить	Использовать, когда курение мо- жет стать причиной пожара. На дверях и стенах помещений, уча- стках, где имеются горючие и лег- ковоспламеняющиеся вещества, или в помещениях, где курить за- прещается
Р 02		Запрещается пользоваться от- крытым огнем и курить	Использовать, когда открытый огонь и курение могут стать при- чиной пожара. На входных дверях, стенах помещений, участках, ра- бочих местах, емкостях, производ- ственной таре
Р 03		Проход запрещен	У входа в опасные зоны, помеще- ния, участки и др.
Р 04		Запрещается тушить водой	В местах расположения электро- оборудования, складах и других местах, где нельзя применять воду при тушении горения или пожара
Р 05		Запрещается использовать в качестве питьевой воды	На техническом водопроводе и емкостях с технической водой, не- пригодной для питья и бытовых нужд
Р 06		Доступ посторонним запрещен	На дверях помещений, у входа на объекты, участки и т. п. для обо- значения запрета на вход (проход) в опасные зоны или для обозначе- ния служебного входа (прохода)

Продолжение таблицы 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 07		Запрещается движение средств наполь- ного транспорта	В местах, где запрещается применять средства напольного транс- порта (например, погрузчики или напольные транспортеры)
Р 08		Запрещается прикасаться. Опасно	На оборудовании (узлах оборудо- вания), дверцах, щитах или других поверхностях, прикосновение к которым опасно
Р 09		Запрещается прикасаться. Корпус под на- пряжением	На поверхности корпусов, щитов и т. п., где есть возможность пора- жения электрическим током
Р 10		Не включать!	На пультах управления и включе- ния оборудования или механизмов при ремонтных и пусконаладоч- ных работах
Р 11		Запрещается работа (присутствие) людей со стимуляторами сердечной деятельности	В местах и на оборудовании, где запрещено работать или находить- ся людям с вживленными стиму- ляторами сердечной деятельности
Р 12		Запрещается за- громождать про- ходы и (или) складировать	На пути эвакуации, у выходов, в местах размещения средств про- тивопожарной защиты, аптечек первой медицинской помощи и других местах
Р 13		Запрещается подъем (спуск) людей по шахтному стволу (запрещается транспортировка пассажиров)	На дверях грузовых лифтов и дру- гих подъемных механизмов

Продолжение табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 14		Запрещается вход (проход) с животными	На воротах и дверях зданий, со- оружений, помещений, объектов, территорий и т. п., где не должны находиться животные, где запре- щен вход (проход) вместе с жи- вотными
Р 16		Запрещается работа (присутствие) людей, имеющих металлические имплантанты	На местах, участках и оборудова- нии, где запрещено работать или находиться людям с вживленными металлическими имплантантами
Р 17		Запрещается разбрызгивать воду	На местах и участках, где запре- щено разбрызгивать воду
Р 18		Запрещается пользоваться мобильным (сотовым) телефоном или переносной рацией	На дверях помещений, у входа на объекты, где запрещено пользоваться средствами связи, имею- щими собственные радиочастот- ные электромагнитные поля
Р 21		Запрещение (прочие опасности или опасные действия)	Применять для обозначения опасности, не предусмотренной настоящим стандартом. Знак необходимо использовать вместе с поясняющей надписью или с дополнительным знаком безопасности с поясняющей надписью
Р 27		Запрещается иметь при (на) себе металлические предметы (часы и т. п.)	При входе на объекты, на рабочих местах, оборудовании, приборах и т. п. Область применения знака может быть расширена
Р 30		Запрещается принимать пищу	На местах и участках работ с вредными для здоровья веществами, а также в местах, где прием пищи запрещен. Область применения знака может быть расшире- на

Окончание табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 32		Запрещается подходить к элементам оборудования с маховыми движениями большой амплитуды	На оборудовании и рабочих местах по обслуживанию оборудования с элементами, выполняющими маховые движения большой амплитуды
Р 33		Запрещается брать руками. Сыпучая масса (непрочная упа- ковка)	На производственной таре, в складах и иных местах, где используют сыпучие материалы
Р 34		Запрещается пользоваться лифтом для подъема (спуска) людей	На дверях грузовых лифтов и других подъемных механизмах. Знак входит в состав группового знака безопасности «При пожаре лифтом не пользоваться, выходить по лестнице»

Таблица 5.3

Предупреждающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 01		Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества	Использовать для привлечения внимания к помещениям с легковоспламеняющимися веществами. На входных дверях, дверцах шкафов, емкостях и т. д.

Продолжение табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 02		Взрывоопасно	Использовать для привлечения внимания к взрыво- опасным веществам, а так- же к помещениям и участ- кам. На входных дверях, стенах помещений, дверцах шкафов и т. д.
W 03		Опасно. Ядовитые ве- щества	В местах хранения, выделения, производства и применения ядовитых веществ
W 04		Опасно. Едкие и корро- зионные вещества	В местах хранения, выде- ления, производства и применения едких и корро- зионных веществ
W 05		Опасно. Радиоактивные вещества или ионизи- рующее излучение	На дверях помещений, дверцах шкафов и в других местах, где находятся и применяются радиоактивные вещества или имеется ионизирующее излучение. Допускается применять знак радиационной опасно- сти по ГОСТ 17925
W 06		Опасно. Возможно падение груза	Вблизи опасных зон, где используется подъемно-транспортное оборудование
W 07		Внимание. Автопогруз- чик	В помещениях и на участках, где проводятся погрузочно-разгрузочные работы

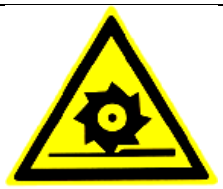
Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 08		Опасность поражения электрическим током	На опорах линий электропередачи, электрооборудовании и приборах, дверцах силовых щитков, на элек- тротехнических панелях и шкафах, а также на ограж- дениях токоведущих частей оборудования, механизмов, приборов
W 09		Внимание. Опасность (прочие опасности)	Применять для привлече- ния внимания к прочим ви- дам опасности, не обозна- ченной настоящим стан- дартом. Знак необходимо использовать вместе с дополнительным знаком безопасности с поясняю- щей надписью
W 10		Опасно. Лазерное излу- чение	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где имеет- ся лазерное излучение
W 11		Пожароопасно. Окисли- тель	На дверях помещений, дверцах шкафов для привлечения внимания на наличие окислителя

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 12		Внимание. Электромагнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют электромагнитные поля
W 13		Внимание. Магнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют магнитные поля
W 14		Осторожно. Малоза- метное препятствие	В местах, где имеются малозаметные препятствия, о которые можно споткнуться
W 15		Осторожно. Возможность падения с высоты	Перед входом на опасные участки и в местах, где возможно падение с высоты
W 16		Осторожно. Биологическая опасность (инфекционные вещества)	В местах хранения, производства или применения вредных для здоровья биологических веществ
W 17		Осторожно. Холод	На дверцах холодильников и морозильных камер, компрессорных агрегатах и других холодильных аппаратах
W 18		Осторожно. Вредные для здоровья аллергические (раздражающие) вещества	В местах хранения, произ- водства или применения вредных для здоровья аллергических (раздражающих) веществ

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 19		Газовый баллон	На газовых баллонах, скла- дах и участках хранения и применения сжатых или сжиженных газов. Цвет баллона черный или белый, выбирается по ГОСТ 19433
W 20		Осторожно. Аккумуля- торные батареи	В помещениях и на участках изготовления, хранения и применения аккумуля- торных батарей
W 22		Осторожно. Режущие валы	На участках работ и оборудовании, имеющем незащищенные режущие валы
W 23		Внимание. Опасность зажима	На дверцах турникетов и шлагбаумах
W 24		Осторожно. Возможно опрокидывание	На дорогах, рампах, складах, участках, где возможно опрокидывание внутризаводского транспорта
W 25		Внимание. Автоматическое включение (запуск) оборудования	На рабочих местах, оборудовании или отдельных узлах оборудования с автоматическим включением
W 26		Осторожно. Горячая поверхность	На рабочих местах и обо-рудовании, имеющем на-гретые поверхности

Окончание табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 27		Осторожно. Возможно травмирование рук	На оборудовании, узлах оборудования, крышках и дверцах, где возможно получить травму рук
W 28		Осторожно. Скользко	На территории и участках, где имеются скользкие места
29		Осторожно. Возможно затягивание между вращающимися элемен-тами	На рабочих местах и обо- рудовании, имеющем вра- щающиеся элементы, на- пример на валковых мель- ницах
W 30		Осторожно. Сужение проезда (прохода)	На территориях, участках, в цехах и складах, где имеются сужения прохода (проезда) или присутствуют выступающие конструкции, затрудняющие проход (проезд)

Таблица 5.4

Предписывающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
M 01		Работать в защитных очках	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов зрения

Продолжение табл. 5.4

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 02		Работать в защитной каске (шлеме)	На рабочих местах и участках, где требуется защита головы
М 03		Работать в защитных наушниках	На рабочих местах и участках с повышенным уровнем шума
М 04		Работать в средствах индивидуальной защиты органов дыхания	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов дыхания
М 05		Работать в защитной обуви	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной защиты
М 06		Работать в защитных перчатках	На рабочих местах и участках работ, где требуется защита рук от воздействия вредных или агрессивных сред, защита от возможного поражения электрическим током
М07		Работать в защитной одежде	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной зашиты
М 08		Работать в защитном щитке	На рабочих местах и участках, где необходима защита лица и органов зрения

Продолжение табл. 5.4

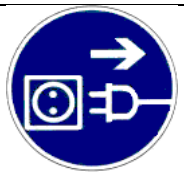
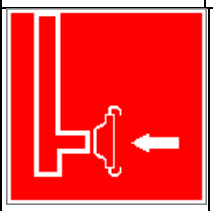
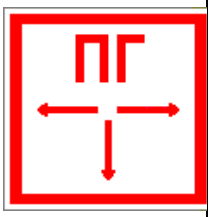
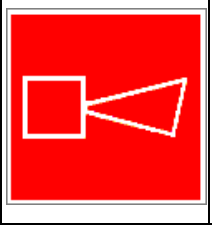
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 09		Работать в предохранительном (страховочном) поясе	На рабочих местах и участках, где для безопасной работы требуется применение предохранительных (страховочных) поясов
М 10		Проход здесь	На территориях и участках, где разрешается проход
М 11		Общий предписывающий знак (прочие предписания)	Для предписаний, не обозначенных настоящим стандартом. Знак необходимо применять вместе с поясняющей надписью на дополнительном знаке безопасности
М 12		Переходить по надземному переходу	На участках и территориях, где установлены надземные переходы
М 13		Отключить штепсельную вилку	На рабочих местах и оборудовании, где требуется отключение от электросети при наладке или остановке электрооборудования и в других случаях
М 14		Отключить перед работой	На рабочих местах и оборудовании при проведении ремонтных или пусконаладочных работ
М 15		Курить здесь	Используется для обозначения места курения на производственных объектах

Таблица 5.5

Знаки пожарной безопасности

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 01-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими знаками пожар- ной безопасности для указания направления движе- ния к месту нахождения (размещения) средства противопожарной зашиты
F 01-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими знаками пожарной безопасности для указания направления движения к месту нахождения (размещения) средства противопожарной защиты
F 02		Пожарный кран	В местах нахождения комплекта пожарного крана с пожарным рукавом и стволом
F 03		Пожарная лестница	В местах нахождения пожарной лестницы
F 04		Огнетушитель	В местах размещения огнетушителя
F 05		Телефон для использования при пожаре	В местах размещения телефона, по которому мож- но вызвать пожарную охрану

Продолжение табл. 5.5

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 06		Место размещения нескольких средств противопожарной защиты	В местах одновременного нахождения (размещения) нескольких средств противопожарной защиты
F 07		Пожарный водоисточник	В местах нахождения пожарного водоема или пир- са для пожарных машин
F 08		Пожарный сухотрубный стояк	В местах нахождения пожарного сухотрубного стояка
F 09		Пожарный гидрант	У мест нахождения подземных пожарных гидран- тов. На знаке должны быть цифры, обозначающие расстояние от знака до гидранта в метрах
F 10		Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики	В местах ручного пуска установок пожарной сигна- лизации, пожаротушения и (или) систем противодым- ной защиты. В местах (пунктах) подачи сигнала пожарной тревоги
F 11		Звуковой оповещатель пожарной тревоги	В местах нахождения зву- кового оповещателя или совместно со знаком F 10 «Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики»

К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: Р 01 «Запрещается курить», Р 02 «Запрещается пользоваться открытым огнем», Р 04 «Запрещается тушить водой», Р 12 «Запрещается загромождать проходы и (или) складировать»;
- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся вещества», W 02 «Взрывоопасно», W 11 «Пожароопасно. Окислитель»;
- эвакуационные знаки;

Таблица 5.6

Эвакуационные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 01-01		Выход здесь (левосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с левой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуа- ционному выходу
Е 01-02		Выход здесь (правосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с правой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 02-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения

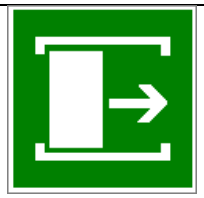
Продолжение табл.5.6

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 02-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения
Е 03		Направление к эвакуационному выходу на- право	На стенах помещений для указаниянаправления движения к эвакуационному выходу
Е 04		Направление к эвакуационному выходу налево	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 05		Направление к эвакуационному выходу направо вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 06		Направление к эвакуационному выходу нале- во вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плос- кости
Е 07		Направление к эвакуационному выходу на- право вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 08		Направление к эвакуационному выходу налево вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 09		Указатель двери эвакуа- ционного выхода	Над дверями эвакуацион- ных выходов

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
E 10		Указатель двери эвакуационного выхода (левосторонний)	Над дверями эвакуационных выходов
E 11		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или под- вешивается к потолку
E 12		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или подвешивается к потолку
E 13		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
E 14		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
E 15		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
E 16		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
E 17		Для доступа вскрыть здесь	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах, где для доступа в помещение или выхода необходимо вскрыть определенную кон- струкцию, например раз- бить стеклянную панель

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 18		Открывать движением от себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 19		Открывать движением на себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 20		Для открывания сдви- нуть	На дверях помещений для обозначения действий по открыванию сдвижных две- рей
Е 21		Пункт (место) сбора	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах для обозначения заранее преду- смотренных пунктов (мест) сбора людей в случае воз- никновения пожара, аварии или другой чрезвычайной ситуации
Е 22		Указатель выхода	Над дверями эвакуацион- ного выхода или в составе комбинированных знаков безопасности для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 23		Указатель запасного выхода	Над дверями запасного выхода

Эвакуационные знаки следует устанавливать в положениях, соответствующих направлению движения к эвакуационному выходу.

Изображение графического символа фигуры человека в дверном проеме на эвакуационных знаках Е 01-01 и Е 01-02 смыслового значения

«Выход здесь» должно совпадать с направлением движения к эвакуационному выходу».

Таблица 5.7

Знаки медицинского и санитарного назначения

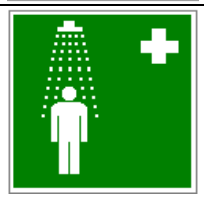
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по при-менению
ЕС 01		Аптечка первой медицинской помощи	На стенах, дверях помещений для обозначения мест размещения аптечек первой медицинской помощи
ЕС 02		Средства выноса (эвакуации) пораженных	На дверях и стенах помещений в местах размеще- ния средств выноса (эва- куации) пораженных
ЕС 03		Пункт приема гигиенических процедур (душевые)	На дверях и стенах помещений в местах расположения душевых и т. п.
ЕС 04		Пункт обработки глаз	На дверях и стенах поме- щений в местах располо- жения пункта обработки глаз
ЕС 05		Медицинский кабинет	На дверях медицинских кабинетов
ЕС 06		Телефон связи с медицинским пунктом (скорой медицинской помощью)	В местах установки телефонов

Таблица 5.8.

Указательные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
D 01		Пункт(место) приема пищи	На дверях комнат приема пищи, буфетах, столовых, бытовых помещениях и в других местах, где разре- шается прием пиши
D 02		Питьевая вода	На дверях бытовых помещений и в местах распо- ложения кранов с водой, пригодной для питья и бы- товых нужд (туалеты, душевые, пункты приема пищи и т. д.)
D 03		Место курения	Используется для обозначения места курения на общественных объектах

Порядок выполнения работы

1. Изучить выдержку из ГОСТ Р 12.4.026–01.

2. Проверить усвоение материала, ответив на контрольные вопросы:

В какой цвет окрашено поле предупреждающего знака?

Какой размер имеет сторона треугольника предупреждающего знака № 4, наносимого на тару и оборудование?

Какой цвет имеет символическое изображение на запрещающем знаке?

Какую форму имеет предписывающий знак?

Какую форму имеет запрещающий знак?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 45 м. Какой размер должен иметь внешний диаметр круга запрещающего знака, мм?

Какой цвет имеют символические изображения или поясняю- щие надписи, наносимые на указательные знаки?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 60 м. Какие размеры

(стороны прямоугольника) должен иметь указательный знак, мм?

Какой цвет имеет квадрат, помещенный внутри указательного знака?

Какой размер имеет внешний диаметр круга запрещающего знака № 5, наносимого на производственное оборудование и тару?

3. Составить отчет. Отчет должен включать:

- цель практической работы;
- ответы на вопросы задания;
- зарисовку формы знаков (запрещающего, предупреждающего, предписывающего, указательного) с указанием цвета поля, символов, надпи- сей.

4. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.4.026–01. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение, правила применения. Общие технические требования и реко- мендации. Методы испытания [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-поисковой системы «Техэксперт».

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6. РАССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Цель задания - ознакомиться с понятием и причинами возникновения несчастных случаев, порядком их расследования и учет на производстве, также с методами анализа травматизма.

Порядок выполнения задания:

а) изучить и законспектировать общие сведения по пункту 1;

б) изучить методы анализа и рассчитать по вариантам показатели травматизма по пункту 2 (см контр. вопросы к пунктам 1 и 2);

в)изучить «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях» и законспектировать ответы на контрольные вопросы к пункту 3.

Общие сведения о несчастных случаях.

Несчастным случаем на производстве называют случай воздействия на работающего опасного производственного фактора при выполнении работающим трудовых обязанностей или заданий руководителя работы [1].

Повреждение здоровья в результате несчастного случая называют **травмой**. Травма, полученная работающим на производстве, называется **производственной**.

Опасным называют производственный фактор, воздействие которого при определенных условиях на работающего приводит к травме или другому внезапному ухудшению здоровья.

Вредным называют производственный фактор, воздействие которого на работающего приводит к заболеваниям или снижению его трудоспособности. В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) по природе действия подразделяют на 4 группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Производственные травмы в зависимости от характера воздействующих факторов подразделяются на:

а) механические повреждения (ушибы, ранения, вывихи, переломы, сотрясения мозга);

б) поражение электрическим током (электроудар, электротравма);

в) термические повреждения (ожоги пламенем, нагретыми частями оборудования, горячей водой и пр.);

г) химические повреждения (ожоги, острые отравления);

д) комбинированные повреждения (сочетание нескольких опасных факторов).

Производственные травмы по тяжести подразделяются на 6 категорий:

- микротравма (после оказания помощи можно продолжать работу).
- легкая травма (потеря трудоспособности на 1 или несколько дней).
- травма средней тяжести (многодневная потеря трудоспособности);
- тяжелая травма (когда требуется длительное лечение);
- травма, приводящая к инвалидности (частичная или полная утрата трудоспособно-сти);
- смертельная травма.

Причины возникновения производственных травм:

- организационные (нарушение технологического процесса и требований техники безопасности (ТБ), неправильная организация рабочего места и режима труда);
- технические (техническое несовершенство оборудования, неисправность механизмов, отсутствие или не использование защитных средств);

- санитарно-гигиенические (несоответствие условий труда требованиям КЗоТ, системе стандартов по безопасности труда (ССБТ), санитарным нормам(СН), строительным нормам и правилам (СНиП) и др.
- психофизиологические (неудовлетворительное состояние здоровья, переутомление, стресс, опьянение и др.).

Методы анализа показателей травматизма

Разработке мероприятий по улучшению условий труда предшествует необходимый этап - исследование и анализ причин травматизма. Для анализа состояния производственного травматизма применяют методы: статистический, экономический, монографический и топографический.

Статистический метод позволяет количественно оценить повторяемость несчастных случаев по ряду относительных коэффициентов. В результате сравнения полученных коэффициентов за отчетный период с предшествующим периодом можно оценить эффективность профилактических мер. Обычно при этом методе анализа несчастные случаи группируются по однородным признакам: профессиям, видам работ, возрасту, стажу работ, причинам, вызвавшим травму. Простота и наглядность являются несомненным достоинством этого метода. Однако у него есть и недостаток - он не выявляет опасные произ-водственные факторы. Среди основных показателей травматизма, используемых при статистическом методе анализа, являются:

а) коэффициент частоты травматизма - число пострадавших при несчастных случаях за отчетный период на 1ООО работающих, определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = T_x \cdot \frac{1000}{P_c},$$

где Кч - коэффициент частоты травматизма; Т - число учтенных травм с потерей трудоспособности; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период.

б) коэффициент тяжести травматизма - число человеко-дней нетрудоспособно-сти, которое приходится на один несчастный случай и определяется по формуле:

$$К_Т = \frac{Д}{Т},$$

где Кт - коэффициент тяжести травматизма; Д - общее количество дней нетрудоспособности за отчетный период; Т - количество учтенных травм.

в) коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев

- показывает через сколько рабочих дней в среднем повторяются несчастные случаи и оп-ределяется по формуле:

$$В = 22{,}5 \cdot \frac{12}{Т},$$

где В - календарная повторяемость несчастных случаев; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

г) коэффициент средней повторяемости - показывает на сколько человекодней приходится один несчастный случай, определяется по формуле:

$$B_{ср} = 22{,}5 \cdot 12 \cdot \frac{P_c}{T},$$

где Вср - коэффициент средней повторяемости несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

д) коэффициент опасности работ - характеризуется тяжестью и частотой несчастных случаев, определяется по формуле:

$$О_р = К_Т \cdot Т_х \cdot \frac{100}{Р_с \cdot М \cdot 22{,}5},$$

где Ор - коэффициент опасности работ; Кт - коэффициент тяжести травматизма ; Т - количество учтенных несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих; М - число месяцев в отчетном периоде.

Таблица 5.0

Исходные данные для расчета показателей травматизма

Показатели	Варианты									
										0

Отчетный период, мес. (М)				2				2		
Число несчастных случаев (Т)				0				1		
Число дней нетрудоспособности (Д)	80	00	80	20	00	50	70	20	60	00
Среднесписочное числоработающих (Рс)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Экономический метод анализа производственного травматизма позволяет оценить эффективность финансовых затрат на профилактику травматизма с расходами на органи-зационные и технические мероприятия. Для более полной и глубокой характеристики травматизма экономический метод часто используют в сочетании с монографическим методом.

Монографический метод анализа травматизма состоит в углубленном и всестороннем изучении отдельного производства, цеха или участка. Он включает описание технологического процесса, оборудования и особенностей технологического регламента, описание опасных зон на рабочих местах, также санитарно-гигиенические условия труда. При этом обращается внимание на наличие защитных приспособлений, ограждений и травмоопасных ситуаций Монографический метод анализа травматизма характеризуется полнотой, но трудоемок. Этот метод позволяет выявить потенциальную

опасность не только в действующих производствах, но и на этапе проектирования, тем самым исключить причины травматизма.

Топографический метод анализа травматизма проводится по месту происшествия. При этом все несчастные случаи условными знаками наносятся на план производственного участка или схему механизма в тех местах, где они произошли. В результате этого выявляются опасные зоны, требующие соответствующих защитных мер и особого внимания.

Контрольные вопросы к пунктам 1 и 2

1. Что такое несчастный случай?
2. Что такое опасный производственный фактор?
3. Что такое вредный производственный фактор?
4. На какие группы подразделяются опасные и вредные производственные факторы?
5. Какие различают разновидности производственных травм?
6. Какие выделяют категории производственных травм?
7. Каковы основные причины возникновения производственных травм?
8. Какие существуют методы анализа производственного травматизма ?
9. В чем заключается статистический метод анализа производственного травматизма?
10. Как определяется коэффициент частоты травматизма?
11. Как определяется коэффициент тяжести травматизма?
12. Как определяется коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев?
13. Как определяется коэффициент средней повторяемости несчастных случаев?
14. Как определяется коэффициент опасности работ?
15. В чем заключается экономический метод анализа производственного травматизма?

16. В чем заключается монографический метод анализа производственного травматизма?

17. В чем заключается топографический метод анализа производственного травматизма?

Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях

Расследование и учет несчастных случаев на производстве проводят в соответствии с “Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях”, утвержденного Постановлением Министерства труда и социального раз-вития Российской Федерации от 24 октября 2002г. №73, а также статьями 227-231 Трудового кодекса РФ (ТК РФ).

Несчастный случай на производстве - это случай, происшедший с работающим вследствие воздействия опасного производственного фактора (для застрахованного – это страховой случай).

Несчастные случаи в зависимости от причин, места и времени происшествия делятся на две группы: несчастные случаи, связанные с работой и несчастные случаи, не связанные с работой (бытовые травмы).

Несчастные случаи, не связанные с производством, но происшедшие на производстве - это несчастные случаи, происшедшие при изготовлении предметов в личных целях, самовольном использовании транспорта предприятия, участии в спортивных мероприятиях на территории предприятия, при хищении имущества предприятия.

Бытовые несчастные случаи - это несчастные случаи, происшедшие в быту (дома) или при нахождении на предприятии вне рабочего времени.

Расследование несчастных случаев на производстве выполняется в соответствии с Трудовым кодексом РФ и «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях», утверждённым постановлением Минтруда России № 73 от 24

октября 2002 года. Этим же постановлением утверждены формы документов, необходимых для расследования и учёта несчастных случаев на производстве.

Расследование несчастного случая может быть достаточно сложным процессом, поскольку интересы пострадавшего и работодателя часто не совпадают.

Действие нормативных актов по расследованию и учёту несчастных случаев на производстве распространяется на:

- работодателей - физических лиц, вступивших в трудовые отношения с работниками;
- уполномоченных работодателем лиц (представители работодателя);
- физических лиц, осуществляющих руководство организацией (руководители организации);
- физических лиц, состоящих в трудовых отношениях с работодателем;
- других лиц, участвующих с ведома работодателя в его производственной деятельности своим личным трудом, правоотношения которых не предполагают заключения трудовых договоров.

Расследованию подлежат травмы, в том числе причиненные другими лицами, включая:

- тепловой удар, ожог, обморожение;
- утопление; поражение электрическим током или молнией;
- укусы, нанесенные животными и насекомыми;
- повреждения, полученные в результате взрывов, аварий и т.п.

Расследованию и учёту подлежат несчастные случаи происшедшие:

- при исполнении трудовых обязанностей, в том числе во время коман-дировки, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- на территории организации, в течение рабочего времени, в том числе во время следования на работу и с работы, а также в течение вре-мени, необходимого для приведения в порядок рабочего места;

- при следовании на работу или с работы на транспортном средстве работодателя, а также на личном транспортном средстве при использовании его в производственных целях;
- во время служебных поездок на общественном транспорте, а также при следовании по заданию работодателя к месту выполнения работ и обратно, в том числе пешком;
- при следовании к месту служебной командировки и обратно;
- при следовании на транспортном средстве в качестве сменщика во время междусменного отдыха;
- во время междусменного отдыха при работе вахтовым методом;
- при привлечении к участию в ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Работники организации обязаны незамедлительно извещать руководство о каждом происшедшем несчастном случае, об ухудшении состояния своего здоровья в связи с проявлениями признаков острого заболевания.

О каждом страховом случае работодатель в течение суток обязан сообщить страховщику (фонд социального страхования).

О групповом несчастном случае (пострадало два и более человек), тяжёлом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом, работодатель в течение суток обязан направить извещение соответственно:

1) о несчастном случае, происшедшем в организации:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту происшествия несчастного случая;
- в федеральный орган исполнительной власти по ведомственной принадлежности;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в организацию, направившую работника, с которым произошел несчастный случай;
- в территориальные объединения организаций профсоюзов;

- в территориальный орган государственного надзора, если несчастный случай произошел в организации (объекте), подконтрольной этому органу;
- страховщику.

2) о несчастном случае, происшедшем у работодателя - физического лица:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту нахождения работодателя - физического лица;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в территориальный орган государственного надзора, если несчастный случай произошел на объекте, подконтрольном этому органу;
- страховщику.

О групповых несчастных случаях, тяжелых несчастных случаях и несчастных случаях со смертельным исходом также информируется Федеральная инспекция труда Минтруда России.

Если указанные несчастные случаи, произошли в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты, то соответствующим образом информируются специально уполномоченные органы государственного надзора.

Для расследования несчастного случая на производстве в организации работодатель незамедлительно создает комиссию в составе не менее трех человек. Во всех случаях состав комиссии должен состоять из нечетного числа членов.

В состав комиссии включаются специалист по охране труда организации, представители работодателя, представители профсоюзного органа (коллектива), уполномоченный (доверенный) по охране труда. Комиссию возглавляет работодатель или уполномоченный им представитель. Состав комиссии утверждается приказом работодателя. Руководитель, непосредственно

отвечающий за безопасность труда на участке, где произошел несчастный случай, в состав комиссии не включается.

В расследовании несчастного случая на производстве у работодателя - физического лица принимают участие указанный работодатель или уполномоченный его представитель, доверенное лицо пострадавшего, специалист по охране труда, который может привлекаться к расследованию несчастного случая и на договорной основе.

Несчастный случай на производстве, происшедший с лицом, направленным для выполнения работ к другому работодателю, расследуется комиссией, образованной работодателем, у которого произошел несчастный случай. В состав данной комиссии входит уполномоченный представитель работодателя, направившего это лицо.

Несчастные случаи, происшедшие на территории организации с работниками сторонних организаций при исполнении ими задания направившего их работодателя, расследуются комиссией, формируемой этим работодателем.

Несчастные случаи, происшедшие с работниками при выполнении работы по совместительству, расследуются комиссией, формируемой работодателем, у которого фактически производилась работа по совместительству.

Расследование несчастных случаев со студентами, проходящими производственную практику (выполняющими работу под руководством работодателя), проводится комиссиями, формируемыми и возглавляемыми этим работодателем. В состав комиссии включаются представители образовательного учреждения.

Для расследования группового несчастного случая, тяжёлого несчастного случая и несчастного случая со смертельным исходом в комиссию дополнительно включаются:

- государственный инспектор труда, представители органа исполнительной власти субъекта РФ или органа местного самоуправления (по

согласованию), представитель территориального объединения профсоюзов. Возглавляет комиссию государственный инспектор труда;

- по требованию пострадавшего (или его родственников) в расследовании несчастного случая может принимать участие его доверенное лицо;
- в случае острого отравления или радиационного воздействия, превысившего установленные нормы, в состав комиссии включается также представитель территориального центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора;
- при несчастном случае, происшедшем в организациях на объектах, подконтрольных территориальным органам Федерального горного и промышленного надзора России, состав комиссии утверждается руководителем соответствующего территориального органа и возглавляет комиссию представитель этого органа;
- при групповом несчастном случае с числом погибших 5 и более человек в состав комиссии включаются также представители Федеральной инспекции труда, федерального органа исполнительной власти по ведомственной принадлежности и общероссийского объединения профсоюзов. Председателем комиссии является главный государственный инспектор труда по субъекту Российской Федерации, а на объектах, подконтрольных территориальному органу Федерального горного и промышленного надзора России, - руководитель этого территориального органа.

При крупных авариях с человеческими жертвами 15 и более человек расследование проводится комиссией, назначаемой Правительством России.

Расследование несчастных случаев (в том числе групповых), в результате которых пострадавшие получили повреждения, отнесенные в соответствии с установленными квалифицирующими признаками к категории легких, проводится в течение трех дней.

Расследование иных несчастных случаев проводится в течение 15 дней. В некоторых случаях председатель комиссии может продлить срок

расследования, но не более чем на 15 дней. Несчастные случаи, о которых не было своевременно сообщено работодателю или в результате которых нетрудоспособность наступила не сразу, расследуются по заявлению пострадавшего в течение месяца.

Тяжелые несчастные случаи и несчастные случаи со смертельным исходом, происшедшие с лицами, выполнявшими работу на основе договора гражданско-правового характера, расследуются в установленном порядке государственными инспекторами труда на основании заявления пострадавшего (доверенного лица, членов его семьи).

В ходе расследования несчастного случая комиссия производит осмотр места происшествия, выявляет и опрашивает очевидцев несчастного случая и должностных лиц, знакомится с действующими в организации нормативными и распорядительными документами, по возможности получает объяснения от пострадавшего.

Расследуются в установленном порядке и по решению комиссии могут квалифицироваться как не связанные с производством:

- смерть вследствие общего заболевания или самоубийства;
- смерть или иное повреждение здоровья, единственной причиной которых явилось алкогольное, наркотическое или иное токсическое опьянение (отравление) работника;
- несчастный случай, происшедший при совершении пострадавшим действий, квалифицированных правоохранительными органами как уголовное правонарушение.

При поступлении жалобы пострадавшего, выявлении сокрытого несчастного случая, установления нарушений порядка расследования и в некоторых иных случаях, государственный инспектор труда, независимо от срока давности несчастного случая, проводит дополнительное расследование.

Несчастные случаи, квалифицированные, как несчастные случаи на производстве, подлежат оформлению актом о несчастном случае на производстве по форме Н-1*.

Акт формы Н-1 составляется комиссией в двух экземплярах. При несчастном случае на производстве с застрахованным работником составляется дополнительный экземпляр акта формы Н-1.

При групповом несчастном случае на производстве акты формы Н-1 составляются на каждого пострадавшего отдельно.

В случае установления факта грубой неосторожности застрахованного работника, содействовавшей возникновению или увеличению размера вреда, причиненного его здоровью, в акте расследования указывается степень его вины в процентах, с учетом заключения профсоюзного или иного уполномоченного застрахованным представительного органа данной организации (не более 25%).

По результатам расследования каждого группового несчастного случая, тяжелого несчастного случая или несчастного случая со смертельным исхо-дом составляется соответствующий акт в двух экземплярах.

Работодатель в трехдневный срок после завершения расследования несчастного случая на производстве обязан выдать пострадавшему один экземпляр утвержденного им и заверенного печатью акта формы Н-1. Вторые экземпляры акта с копиями материалов расследования хранятся в течение 45 лет работодателем.

При страховых случаях третий экземпляр утвержденного и заверенного печатью акта формы Н-1 работодатель направляет страховщику.

Каждый оформленный в установленном порядке несчастный случай на производстве регистрируются работодателем в журнале регистрации несчастных случаев на производстве и включаются в годовую форму федерального государственного статистического наблюдения за травматизмом на производстве.

В случае ликвидации организации или прекращения работодателем - физическим лицом предпринимательской деятельности оригиналы актов о расследовании несчастных случаев на производстве подлежат передаче на хранение правопреемнику, а при его отсутствии - соответствующему государственному органу.

Государственный надзор и контроль за соблюдением установленного порядка расследования, оформления и учета несчастных случаев на производстве осуществляется органами Федеральной инспекции труда.

Контрольные вопросы к пункту 3

1. Какие несчастные случаи считаются связанными с производством и подлежат расследованию и учету?
2. На кого распространяется действие Положения о порядке расследования и учета несчастных случаев?
3. Как должен действовать работодатель при возникновении несчастного случая на предприятии?
4. Что необходимо сделать сразу же после свершения несчастного случая на произ-водстве?
5. Куда должен сообщить работодатель и в какие сроки о групповом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом?
6. Кто несет ответственность за организацию и своевременное расследование и уче-та несчастных случаев?
7. Кто входит в комиссию по расследованию несчастных случаев, каковы ее обязанности?
8. В какие сроки должно быть проведено расследование несчастного случая?
9. Какие несчастные случаи квалифицируются как не связанные с производством?
10. Что делают при установлении грубой неосторожности пострадавшего?
11. В какие сроки и комиссией какого состава расследуются групповые несчастные случаи или со смертельным исходом?
12. Какие условия должен обеспечить работодатель для работы комиссии, проводя-щей расследование несчастного случая?
13. Каким документом оформляются несчастные случаи на производстве?

14. Какой организацией учитывается акт о несчастном случае?

15. В какие сроки и куда должны быть отправлены материалы расследования групповых несчастных случаев?

16. Какие организации и должностные лица разбирают разногласия при оформлении актов по форме Н - 1 ?

17. Каковы полномочия государственного инспектора по охране труда в случае нарушения порядка расследования несчастного случая?

Форма Н-1

Один экземпляр направляется
пострадавшему или его
доверенному лицу

УТВЕРЖДАЮ

_____
(подпись, фамилия, инициалы
работодателя
(его представителя))
"__" _____ 200_ г.

Печать

АКТ N ____
О НЕСЧАСТНОМ СЛУЧАЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

1. Дата и время несчастного случая _____
_____
(число, месяц, год и время происшествия
несчастного случая,

_____
количество полных часов от начала работы)
2. Организация (работодатель), работником которой является
(являлся) пострадавший _____
(наименование, место нахождения,
юридический адрес, ведомственная
и отраслевая

_____
принадлежность (ОКОНХ основного вида деятельности);
фамилия, инициалы работодателя -

_____
физического лица)
Наименование структурного подразделения _____
_____
3. Организация, направившая работника _____
_____
(наименование, место нахождения, юридический адрес,
отраслевая принадлежность)
4. Лица, проводившие расследование несчастного случая:
_____
(фамилия, инициалы, должности и место работы)
_____
5. Сведения о пострадавшем:
фамилия, имя, отчество _____
пол (мужской, женский) _____
дата рождения _____
профессиональный статус _____
профессия (должность) _____
стаж работы, при выполнении которой произошел несчастный случай
_____,
(число полных лет и месяцев)
в том числе в данной организации _____
(число полных лет и месяцев)
6. Сведения о проведении инструктажей и обучения по охране труда
Вводный инструктаж _____
(число, месяц, год)
Инструктаж на рабочем месте (первичный, повторный, внеплановый,

---------- -------
(нужное подчеркнуть)
целевой)

по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай _____
(число, месяц, год)
Стажировка: с "__" _____ 200_ г. по "__" _____ 200_ г.
_____
(если не проводилась - указать)
Обучение по охране труда по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай: с "__" _____ 200_ г. по "__" _____ 200_ г. _____
(если не проводилось - указать)
Проверка знаний по охране труда по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай _____
(число, месяц, год, N протокола)
7. Краткая характеристика места (объекта), где произошел несчастный случай
_____
(краткое описание места происшествия с указанием опасных и (или) вредных производственных
_____
факторов со ссылкой на сведения, содержащиеся в протоколе осмотра места несчастного случая)
_____
Оборудование, использование которого привело к несчастному случаю
_____
(наименование, тип, марка, год выпуска, организация - изготовитель)
8. Обстоятельства несчастного случая
_____
(краткое изложение обстоятельств, предшествовавших несчастному случаю, описание событий
_____
и действий пострадавшего и других лиц, связанных с несчастным случаем, и другие сведения,
_____
установленные в ходе расследования)
_____
_____
_____
8.1. Вид происшествия _____
_____
8.2. Характер полученных повреждений и орган, подвергшийся повреждению, медицинское заключение о тяжести повреждения здоровья
_____
8.3. Нахождение пострадавшего в состоянии алкогольного или наркотического опьянения _____
(нет, да - указать состояние и степень опьянения в соответствии с заключением по
_____
результатам освидетельствования, проведенного в установленном порядке)
8.4. Очевидцы несчастного случая _____
_____
(фамилия, инициалы, постоянное место жительства,

домашний телефон)
9. Причины несчастного случая _____
(указать основную
и сопутствующие причины
_____
несчастного случая со ссылками на нарушенные требования
законодательных и иных
_____
нормативных правовых актов, локальных нормативных актов)
_____
_____
_____
_____
10. Лица, допустившие нарушение требований охраны труда:
_____
(фамилия, инициалы, должность (профессия) с указанием
требований законодательных,
_____
иных нормативных правовых и локальных нормативных актов,
предусматривающих их
_____
ответственность за нарушения, явившиеся причинами
несчастного случая, указанными в п. 9
_____
настоящего акта; при установлении факта грубой
неосторожности пострадавшего указать
_____
степень его вины в процентах)
_____
Организация (работодатель), работниками которой являются данные
лица
_____
(наименование, адрес)
11. Мероприятия по устранению причин несчастного случая, сроки
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Подписи лиц, проводивших
расследование несчастного случая _____
(фамилии, инициалы, дата)
_____

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.О.ОО2 - 8О. Термины и определения.
2. Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях
3. И.М.Чижевский, Г.Б.Куликов, Ю.А.Сидорин. Охран труда в полиграфии. М., 1988.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Цель работы – ознакомиться со средствами защиты органов ды- хания и получить практические навыки их использования.

Теоретические положения

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предназначены для защиты человека от попадания внутрь организма, на кожные покровы и повседневную одежду радиоактивных веществ (РВ), отравляющих веществ (ОВ) и бактериальных средств (БС).

По принципу применения средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты повседневного применения (промышленные СИЗ);

– средства защиты эпизодического применения (СИЗ для аварийных работ и пострадавших в очагах ЧС).

По объектам защиты средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты органов дыхания;

– средства защиты кожи.

По принципу действия средства индивидуальной защиты делятся:

– на фильтрующие (принцип фильтрации состоит в том, что воздух, необходимый для поддержания жизнедеятельности организма человека, очищается от вредных примесей при прохождении через средство защиты);

– изолирующие (средства защиты изолирующего типа полностью изолируют организм человека от окружающей среды с помощью материалов, непроницаемых для воздуха и вредных примесей).

По способу подачи воздуха различают средства индивидуальной

защиты делятся:

– с принудительной подачей воздуха;

– самовсасывающие.

По кратности использования средства индивидуальной защиты

- на СИЗ многократного использования;

- СИЗ однократного использования.

По способу изготовления средства индивидуальной защиты делятся:

- на средства, изготовленные промышленностью;

- простейшие средства, изготовленные из подручных материалов. Кроме средств индивидуальной защиты существуют медицинские средства защиты [1].

Средства защиты органов дыхания.

Фильтрующий противогаз.

Фильтрующий противогаз предназначен для защиты органов дыхания, глаз, кожи лица от воздействия ОВ, РВ, БС, (АХОВ), а также различных вредных примесей, присутствующих в воздухе.

В настоящее время имеются фильтрующие гражданские противогазы различной модификации и промышленные противогазы.

Для защиты населения наибольшее распространение получили фильтрующие противогазы: для взрослого населения – ГП-5 (ГП-5М), ГП-7 (ГП-7В); для детей – ПДФ-Ш, ПДФ-Д, ПДФ-2Ш, ПДФ-2Д, КЗД.

Гражданский противогаз (ГП-5). В состав комплекта входят два основных элемента: фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5 и лицевая часть ШМ-62у. Шлем-маска имеет 5 ростов (0, 1, 2, 3, 4). Кроме того, противогаз комплектуется сумкой, наружными утеплительными манжетами (НМУ-1) и коробкой с незапотевающими пленками (рис. 9.1) [2]. У него нет соединительной трубки.

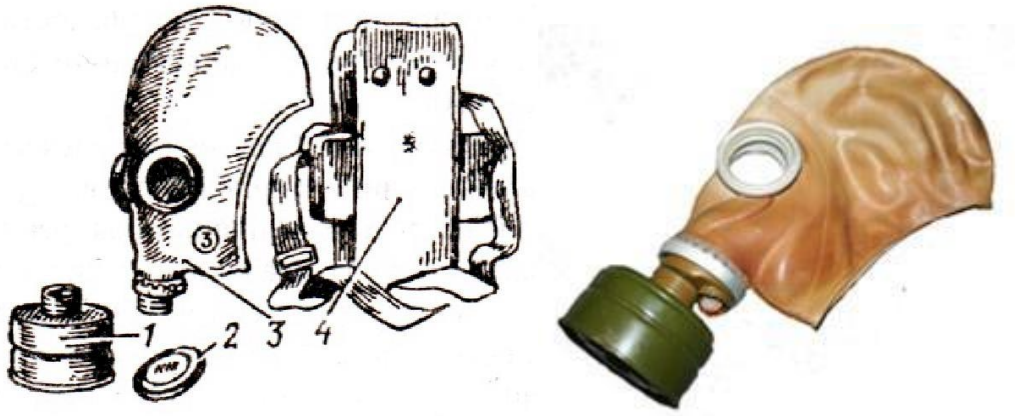


Рис. 7.1 Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-5):

1 – фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5; 2 - коробка с незапотевающими пленками; 3 – лицевая часть ШМ-62у; 4 – сумка

Внутри фильтрующе-поглощающей коробки ГП-5 расположены противоаэрозольный фильтр и шихта. Лицевая часть ШМ-62у представляет собой шлем-маску, изготовленную на основе резины из натурального или синтетического каучука. В шлем-маску вмонтированы очковый узел и клапанная коробка. Клапанная коробка имеет один вдыхательный и два выдыхательных клапана и служит для распределения потоков воздуха. Незапотевающие пленки изготавливаются из целлюлозы и бывают односторонние (НП) и двусторонние (НПН). Они устанавливаются с внутренней стороны стекол противогаза желатиновым покрытием к глазам и фиксируются прижимными кольцами. Желатин равномерно впитывает конденсированную влагу, тем самым сохраняя прозрачность пленки.

Комплект из 6 пленок упакован в металлическую коробку. Утеплительные манжеты используются только зимой при температуре ниже –10 ^{o}С. Манжета надевается на обойму очков с внешней стороны. Пространство между стеклами манжет и очков предохраняет очки шлем- маски от замерзания.

Гражданский противогаз (ГП-5М). В комплект противогаза входит шлем-маска (ШМ-66Му) с мембранной коробкой для переговорного устройства. В лицевой части сделаны сквозные вырезы для ушных раковин, что обеспечивает нормальную слышимость.

Подгонка противогаза начинается с определения требуемого роста лицевой части. Рост лицевой части типа ШМ-62у, ШМ-66Му определяется по величине вертикального обхвата головы путем ее измерения по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляют до 0,5 см. До 63 см берут нулевой рост, от 63,5 до 65,5 см – первый, от 66 до 68 см – второй, от 68,5 до 70,5 см – третий, от 71 см и более – четвертый.

Перед применением противогаз следует проверить на исправность и герметичность. Осматривая лицевую часть, следует определить ее целостность, обратив внимание на стекла очкового узла. После этого нуж- но проверить клапанную коробку, состояние клапанов. Они не должны быть покороблены, засорены или порваны. На фильтрующе-поглощающей коробке не должно быть вмятин, проколов, в горловине – повреждений. Обращается внимание на то, чтобы в коробке не пересыпались зерна поглотителя.

Наиболее совершенными в настоящее время являются противогазы ГП-7 и ГП-7В. Их основными отличиями являются: более совершенная конструкция и форма шлем-маски, обеспечивающая возможность безопасного приема воды, жидких лекарств, других жидкостей в зараженной зоне без снятия маски. Наличие в комплекте фильтрующе-поглощающих коробок обеспечивает защиту от конкретных видов твердых химических веществ (ТХВ), а также увеличенные сроки работоспособности. Ростовка лицевой части предусматривает три размера. Как и другие типы противогазов, они состоят из фильтрующе- поглощающей коробки и лицевой части.

Гражданский противогаз (ГП-7). В комплект противогаза входят фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к, лицевая часть в виде маски МГП, сумка, защитный трикотажный чехол, коробка с незапотевающими пленками, утеплительные манжеты. Его масса в комплекте без сумки – около 900 г (фильтрующе-поглощающая коробка – 250 г, лицевая часть – 600 г).

Фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к по конструкции аналогична коробке ГП-5, но с улучшенными характеристиками, уменьшено ее сопротивление, что облегчает дыхание. Лицевая часть МГП представляет собой маску объемного типа с «независимым» обтюратором, с наголовником (предназначен для закрепления лицевой части) в виде резиновой пластины с пятью лямками (лобная, две височные, две щечные), с очковым узлом, переговорным устройством (мембраной), узлами клапана вдоха и выдоха, прижимными кольцами для закрепления незапотевающих пленок (рис. 9.2) [2]. «Независимый» обтюратор представляет собой полосу тонкой резины и служит для создания надежной герметизации лицевой части на голове. При этом механическое воздействие лицевой части на голову очень незначительно. На каждой лямке с интервалом в 1 см нанесены упоры ступенчатого типа, которые предназначены для надежного закрепления их в пряжках. У каждого упора имеется цифра, указывающая его порядковый номер. Это позволяет точно фиксировать нужное положение лямок при подгонке маски. Нумерация цифр идет от свободного конца лямки к затылочной пластине. Гидрофобный трикотажный чехол надевается на фильтрующе-поглощающую коробку и предохраняет ее от заражения, снега, пыли и влаги.

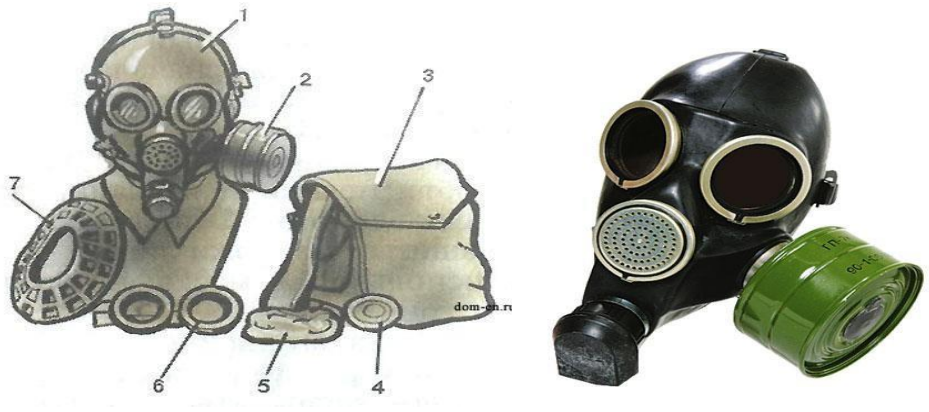


Рис. 7.2. Противогаз ГП-7:

1 – лицевая часть; *2* – фильтрующе-поглощающая коробка; *3* – сумка; *4* – коробка с незапотевающими пленками; *5* – трикотажный чехол; *6* – утеплительные манжеты

Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-7, ГП-7В, ГП-7ВМ) – это

одна из самых последних и совершенных моделей противогазов для населения. В реальных условиях он обеспечивают высокую защиту от паров отравляющих веществ нервнопаралитического действия (типа зарин, зоман и др.), общеядовитого действия (хлорциан, синильная кислота и др.), радиоактивных веществ (радионуклидов йода и его органических соедине- ний (типа йодистый метил и др.)); от капель отравляющих веществ кожно- нарывного действия (иприт и др.), бактериальных, аварийных химически опасных веществ (АХОВ). ГП-7 имеет малое сопротивление дыханию, обеспечивает надежную герметизацию и небольшое давление лицевой час- ти на голову. Благодаря этому им могут пользоваться люди старше 60 лет и больные с легочными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основа- нии результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы.

Правила определения размера противогаза.

Для определения размера противогаза нужно знать горизонталь- ный и вертикальный обхват головы. Горизонтальный обхват измеряется по замкнутой линии, которая проходит спереди по надбровным дугам, сбоку чуть выше (на 2–3 см) ушной раковины и сзади по наиболее выступающей части головы. А вертикальный обхват можно определить посредством из- мерения длины вертикальной линии, проходящей через подбородок, щеки и макушку. Полученные измерения следует округлить так, чтобы послед- няя цифра была 0 или 5. Затем нужно сложить оба результата и посмот- реть, какой размер противогаза вам нужен [3]:

- менее 1190 мм – первый размер;
- от 1195 до 1210 мм – второй размер;
- от 1215 до 1235 мм – третий размер;
- от 1240 до 1260 мм – четвертый размер;
- от 1265 до 1285 мм – пятый размер;
- от 1290 до 1310 мм – шестой размер.

Надевается противогаз после сигнала «Химическая тревога» по команде

«Газы», либо по своей инициативе. Вынув противогаз из специальной сумки, следует взять шлем-маску за его нижнюю часть так, чтобы большие пальцы рук находились снаружи, а остальные были внутри. Далее нужно приложить нижнюю часть шлема-маски под подбородок и натянуть его на голову резким движением рук вверх.

Учитывая то, что операции, которые описаны выше, придется проводить вслепую, нужно достаточно долго тренироваться. Хотя все зависит от человека и степени его обучаемости. Хорошо попрактиковавшись, можно приблизиться к армейским нормативам на надевание противогаза – около 7–10 с. Наличие у противогаза переговорного устройства (мембра- ны) обеспечивает четкое понимание передаваемой речи, значительно облегчает пользование средствами связи (телефон, радио).

Гражданские противогазы ГП-7В, ГП-7ВМ, УЗС-ВК, КЗД-6, фильтр ДОТ, фильтр ВК, ДПГ-3 (рис. 7.3). ГП-7В отличается от ГП-7 тем, что в нем лицевая часть МГП-В имеет устройство для приема воды, пред- ставляющее собой резиновую трубку с мундштуком и ниппелем.

ГП-7ВМ отличается от ГП-7В тем, что маска М-80 имеет очковый узел в виде трапециевидных изогнутых стекол, обеспечивающих возможность работы с оптическими приборами.

Гражданский фильтрующий противогаз ГП-7 обеспечивает защиту органов дыхания, глаз и кожи лица человека от вредных веществ и приме- сей, находящихся в воздухе. Это проверенная временем и надежная модель противогаза для гражданского населения.



а *б* *в* *г*



д *е* *ж*

Рис. 7.3. Гражданские противогазы:

а – ГП-7(В, ВМ); *б* – УЗС-ВК; *в* – ПДФ-2; г – КЗД-6; *д* – фильтр ДОТ; *е* – фильтр ВК; *ж* – ДПГ-3;

Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основании результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы. Горизонтальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей спереди по надбровным дугам, сбоку на 2–3 см выше края ушной раковины и сзади через наиболее выступающую точку головы. Вертикальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляются с точностью до 5 мм. По сумме двух измерений устанавливают нужный типоразмер (табл. 7.0). [4].

Правильно подобранная шлем-маска (маска) должна плотно прилегать к лицу и исключать возможность проникновения наружного воздуха в органы дыхания, минуя фильтрующе-поглощающую коробку.

Таблица 7.0

Типоразмеры противогазов

Рост лицевой части		1		2		3		
Положение упоров лямок	ГП-7, ГП-7В	4-8-8	3-7-8	3-7-8	3-6-7	3-6-7	3-5-6	3-4-5
	ГП-7ВМ	4-8-6	3-7-6	3-7-6	3-6-5	3-6-5	3-5-4	3-4-3
Сумма горизонтального и вертикального обхвата головы		До 1185	1190–1210	121–1235	1240–1260	1265–1285	1290–1310	1310 и более

*Примечание. П*оложение лямок наголовника устанавливают при подгонке противогаза.

Противогаз УЗС-ВК – аварийно-спасательное средство многоразового действия, применяется для защиты органов дыхания человека от вредных веществ, может использоваться во всех климатических зонах.

Противогаз ПДФ-2 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и лица детей (старше 1,5 года) от отравляющих веществ (ОВ), опасных биологических веществ (ОБВ), радиоактивной пыли (РП).

Камера защитная детская (КЗД-6) предназначена для защиты детей в возрасте до 1,5 года от отравляющих веществ, радиоактивной пыли и бактериальных средств. Детская защитная камера похожа на обычную сумку, поэтому переносить ребенка в ней очень удобно.

Дополнительный патрон (ДПГ-3) предназначен для использования в комплекте с ГП-7, ГП-7В и детскими противогазами, для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека от сильнодействующих ядовитых ве- ществ: аммиака, диметиламина, нитробензола.

Фильтр ДОТ соответствует новым ГОСТам, гармонизированным с европейскими стандартами EN141, EN143. Он значительно эффективнее по сравнению с противогазовыми коробками, выпускаемыми по старым ГОСТа, за счет уникальных поглотителей от отравляющих веществ, опас- ных биологических веществ, радиоактивной пыли, сильнодействующих ядовитых веществ.

Фильтр ВК предназначен для очистки вдыхаемого воздуха от органических газов и паров с температурой кипения выше 65 ^{o}C (циклогек- сан, бензол, ксилол, толуол, бензин, керосин, галоидоорганические соеди- нения (хлорпикрин, хлорацетофенон и т. п.), нитросоединения бензола).

Промышленные противогазы. Существует несколько марок промышленных фильтрующих противогазов, которые являются индивидуальным средством защиты органов дыхания и зрения рабочих различных отраслей промышленности, сельского хозяйства от воздействия вредных веществ (газы, пары, пыль, дым и туман), присутствующих в воздухе.

Запрещается применять промышленные противогазы при недостатке

кислорода в воздухе (менее 18 %), например при работах в емкостях, цистернах, колодцах и других изолированных помещениях.

Не допускается применение промышленных противогазов для защиты от низкокипящих жидкостей, плохо сорбирующихся органических веществ, например метана, этилена, ацетилена. Не рекомендуется работать в таких противогазах, если состав газов и паров вредных веществ неизвестен (Рис. 7.4).



Рис. 7.4. Промышленные противогазы

Противогазы ППФМ-92, ПФМГ-96, ПФСГ-98 предназначены для защиты органов дыхания, глаз и лица человека от вредных газо- и парооб- разных веществ и аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны. ППФ-95 предназначены для защиты органов дыхания, зрения и лица рабо- чих различных отраслей промышленности и сельского хозяйства от воз- действия вредных газов, паров, пыли, дыма и тумана, присутствующих в воздухе. Фильтрующие противогазы надежны в атмосфере, содержащей не менее 18 % кислорода.

Промышленный противогаз состоит из снаряженной коробки, лицевой части (шлем-маски) с соединительной трубкой и сумки. Фильтрующая коробка служит для очистки воздуха, вдыхаемого человеком, от ядовитых веществ и вредных примесей. В зависимости от состава этих примесей она может содержать один или несколько специальных поглотителей или сочетание поглотителя с аэрозольным фильтром. При этом коробки строго специализированы по составу поглотителей, а поэтому отличаются друг от друга окраской и маркировкой. Шлем-маски промышленных противогазов изготавливаются пяти ростов – 0, 1, 2, 3, 4. Чтобы подобрать шлем-маску, надо мягкой сантиметровой линейкой произвести два измерения головы. Вначале определить длину круговой линии, проходящей по подбородку, щекам и через

высшую точку головы (макушку). Затем измерить длину полуокружности, проходящей от отверстия одного уха к отверстию другого по лбу через надбровные дуги. Результаты двух обмеров суммируют и находят требуемый рост шлем-маски.

При сумме до 93 см размер нулевой, от 93 до 95 см – первый, от 95 до 99 см – второй, от 99 до 103 см – третий, от 103 и выше – четвертый [4].

Противогазы комплектуют коробками двух размеров (большая и малая) и трех типов: без аэрозольного фильтра, с аэрозольным фильтром (на коробке белая вертикальная полоса), без аэрозольного фильтра с уменьшенным сопротивлением дыханию (имеет индекс 8 в маркировке). В зависимости от вида вредного вещества выпускают коробки следующих марок: А, В, Г, Е, КД, СО, М (табл. 9.2) [5].

Коробки марок А, В, Г, Е, КД изготавливаются как с аэрозольными фильтрами, так и без них; коробка БКФ – только с аэрозольными фильтрами; коробки СО и М – без аэрозольных фильтров. Белая вертикальная полоса на коробке означает, что она оснащена аэрозольным фильтром.

Таблица 7.1

Характеристика промышленных противогазов

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
А	Коричневая	Пары органических соединений (бензин, керосин, ацетон, бензол, толуол, ксилол, сероуглерод, спирты, эфиры, галоидоорганические соединения, нитросоединения бензола и его гомологи, тетроэтилсвинец, фосфор- и хлорорганические ядохимикаты)

Продолжение табл. 7.1

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
В	Желтая	Кислые газы и пары (диоксида серы, гидрид серы, хлор, циан гидрида, окислы азота, хлориды водорода, фосген), фосфор- и хлорорганические ядохимикаты

Г	Черно-желтая	Пары ртути и ртутьорганическе ядохимикаты на основе этилмеркурхлорида
Е	Черная	Гидрид мышьяка и гидрид фосфора
К	Зеленая	Аммиак, а также пыль, дым, туман
КД	Серая, с бе- лой поло- сой	Аммиак и сероводород
БКФ	Защитная, с белой полосой	Кислые газы и пары, пары органических веществ, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пыль, дым, туман
СО	Белая	Оксид углерода
М	Красная	Оксид углерода в присутствии паров органических ве- ществ, кислые газы, аммиак, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пары органических соединений (бензин, керо- син, ацетон, бензол, ксилол, сероуглерод, толуол, спирты, эфиры, анилин, соединения бензола и его гомологи)
П-2У	Красная с белой поло- сой	Пары карбонилов никеля и железа, оксид углерода и со-путствующие аэрозоли
Б	Синяя	Бороводороды: диборан, пентаборан, этилентаборан, ди-этилдекаборан и их аэрозоли
УМ	Защитная	Пары и аэрозоли гептила, амил, самин, нитромеланж, амидол
ГФ	Голубая	Газообразный гексафторид урана, фтор, фтористый водо- род, радиоактивные аэрозоли

Пользование противогазом. Подобрав шлем-маску, ее обязательно примеряют. Новую лицевую часть предварительно необходимо протереть снаружи и внутри чистой тряпочкой или тампоном ваты, смоченным в воде, а клапаны выдоха продуть. Шлем-маску, бывшую в употреблении, следует отсоединить от коробки, протереть двухпроцентным раствором формалина или промыть водой с мылом и просушить.

При сборке противогаза шлем-маску берут в левую руку за клапанную

коробку, а правой рукой ввинчивают до отказа фильтрующе- поглощающую коробку навинтованной горловиной в патрубок клапанной коробки шлем-маски.

При переводе противогаза в «боевое» положение необходимо:

– снять головной убор и зажать его между коленями или положить рядом;

– убрать волосы со лба и висков, женщинам следует гладко

– зачесать волосы назад, заколки и украшения снять (их попадание под обтюратор приведет к нарушению герметичности);

– вынуть шлем-маску из сумки, взять ее обеими руками за утолщенные края у нижней части так, чтобы большие пальцы рук были с наружной стороны, а остальные – внутри. Подвести шлем-маску к подбородку и резким движением рук вверх и назад натянуть ее на голову так, чтобы не было складок, а очки пришлись против глаз (ГП-5, ГП-5М);

– для правильного надевания ГП-7 надо взять лицевую часть обеими руками за щечные лямки так, чтобы большие пальцы захватывали их изнутри. Задержать дыхание, закрыть глаза. Затем зафиксировать подбородок в нижнем углублении обтюратора и движением рук вверх и назад натянуть наголовник на голову и подтянуть до упора щечные лямки;

– сделать полный выдох (для удаления зараженного воздуха из-под шлем-маски, если он туда попал в момент надевания), открыть глаза и возобновить дыхание;

– надеть головной убор, застегнуть сумку и закрепить ее на туловище.

Дополнительные патроны

В результате развития химической и нефтехимической промышленности в производстве увеличено применение химических веществ. Многие из них по своим свойствам вредны для здоровья людей. Их называют сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ).

С целью расширения возможностей гражданских противогазов по защите от СДЯВ для них введены дополнительные патроны (ДПГ-1 и ДПГ-3).

ДПГ-1 в комплекте с противогазом защищает от двуокиси азота, метила

хлористого, окиси углерода и окиси этилена. ДПГ-3 в комплекте с противогазом защищает от аммиака, хлора, диметиламина, нитробензола, сероводорода, сероуглерода, синильной кислоты, тетраэтилсвинца, фенола, фурфурола, хлористого водорода.

Внутри патрона ДПГ-1 два слоя шихты – специальный поглотитель и гопкалит. В ДПГ-3 только один слой поглотителя. Чтобы защитить шихту от увлажнения при хранении, горловины должны быть постоянно закрытыми: наружная – с навинченным колпачком с прокладкой, внутренняя – с ввернутой заглушкой [6].

Изолирующие противогазы. Изолирующие противогазы (ИП) являются специальными средствами защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от любых вредных примесей, находящихся в воздухе независимо от их свойств и концентраций. Они используются также в тех случаях, когда невозможно применение фильтрующих противогазов, например при наличии в воздухе очень высоких концентраций отравляющих веществ или любой вредной примеси, кислорода менее 16 %, а также при работе под водой на небольшой глубине. Виды противогазов представлены на Рис. 7.5.



ИП-4М ИП-6 ПДА-3М

Рис. 9.5. Изолирующие противогазы

Изолирующие противогазы используют в случае, когда фильтрующие противогазы не обеспечивают должной степени защиты, или когда в воздухе недостаточно кислорода. Источником кислорода в таком противогазе служит патрон, снаряженный специальным веществом. Для нужд населения выпускают ИП-4М, ИП-4МК, ИП-5, ИП-6, ИП-7, ПДА- 3М.

Действие изолирующих противогазов основано на использовании химически связанного кислорода. Они имеют замкнутую маятниковую схему дыхания: выдыхаемый воздух попадает в регенеративный патрон, вещество которое содержится в нем поглощает углекислый газ и влагу, а взамен выделяет необходимый для дыхания кислород. Затем дыхательная смесь попадает в дыхательный мешок. При вдохе газовая смесь из дыхательного мешка снова проходит через регенеративный патрон, дополнительно очищается и поступает для дыхания. Материалы, из которых изготовлены противогазы, не оказывают отрицательного воздействия на организм. Применение незапотевающих пленок, а при отрицательных температурах и утеплительных манжет сохраняет прозрачность стекол в течение всего времени работы в противогазе при любой физической нагрузке. Грантируется высокая эксплуатационная безопасность.

ИП-4М, ИП-4МК используют при авариях, стихийных бедствиях. ИП-5, ИП-6 предназначены для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека в непригодной для дыхания атмосфере независимо от состава и концентрации вредных веществ в воздухе, а также при недостатке или отсутствии кислорода. Портативный дыхательный аппарат (ПДА-3М) предназначен для экстренной защиты органов дыхания, зрения и кожи лица человека в непригодной для дыхания атмосфере при эвакуации из опасной зоны, выполнении аварийных работ, а также в ожидании помощи [5].

По принципу действия изолирующие противогазы делятся на две группы: ИП-5); КИП-8).

- противогазы на основе химически связанного кислорода (ИП-4,

- противогазы на основе сжатого кислорода или воздуха (КИП-7, Исходя из принципа защитного действия, основанного на полной изоляции органов дыхания от окружающей среды, время пребывания в изолирующем противогазе зависит не от физико-химических свойств ОВ,РВ, БС и их концентраций, а от запаса кислорода и характера выполняемой работы.

Противогазы шланговые изолирующие презназначены для защиты органов дыхания, глаз и кожи человека от любых вредных примесей в воздухе независимо от их концентрации, а также для работы в условиях недостатка кислорода в воздухе рабочей зоны. Комплектуются возду- ходводящим шлангом длиной 10 или 20 м на барабане или в сумке.

Респираторы.

Респираторы представляют собой облегченное средство защиты органов дыхания от вредных газов, паров, аэрозолей и пыли (рис. 7.6).

Респираторы делятся на два типа. Первый – это респираторы, у которых полумаска и фильтрующий элемент одновременно служат и лицевой частью. Второй – это респираторы, которые очищают вдыхаемый воздух в фильтрующих патронах, присоединяемых к полумаске.



Рис. 7.6. Респираторы:

а – «Кама»; б – «Снежок»; в – У-2к; г – РП-КМ; д – Ф-62Ш; е – «Ас- тра 2»; ж – РПГ-67; з – РУ-6 Ом

Респираторы по назначению делят на следующие виды [5]:

противоаэрозольные – для защиты органов дыхания от пыли, дыма, тумана, содержащих токсичные, бактериальные и другие опасные элементы, за счет пропускания вдыхаемого воздуха через фильтр из специального материала (респираторы «Лепесток», «Кама», «Снежок-П», У-2к, «Астра-2», Ф-62ш, РПА-1 и др.). Для фильтров в таких респираторах ис- пользуют материалы типа ФП (фильтр Петрянова), обладающие высокой эластичностью, механической прочностью, большой пылеемкостью, стой- костью к химическим агрессивным веществам и прекрасными фильтрую- щими свойствами;

противогазовые – для защиты от паров и газов за счет фильтрования вдыхаемого воздуха через фильтрпатроны различных марок, различающихся составом адсорбирующего материала. При этом фильтр-патрон каждой марки защищает от газов только определенного вида (РПГ-67);

универсальные – одновременно защищают от аэрозолей и отдель- ных видов газов и паров. Респираторы имеют противоаэрозольный фильтр и сменные противогазовые патроны разных марок (РУ-60м) или противо- газовые фильтры из ионообменного волокнистого материала («Снежок- ГП», «Лепесток-Г»).

По конструктивному оформлению различают респираторы двух типов:

фильтрующие маски – их фильтрующий элемент одновременно служит лицевой частью;

патронные – самостоятельно выполненные лицевая часть и фильтрующий элемент.

По характеру вентилирования подмасочного пространства респи- раторы делят на бесклапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух прохо- дит через фильтрующий элемент) и клапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух движется по различным каналам благодаря системе клапанов вдоха и выдоха).

В зависимости от срока службы различают респираторы одноразо- вого

(типа «Лепесток», «Кама», У-2к и т. п.) и многоразового пользования, в которых предусмотрена возможность замены фильтров или их много- кратная регенерация (Ф-62ш, «Астра-2», РУ-60м и др.).

Респираторы ШБ-1, «Лепесток-5», «Лепесток-40» и «Лепесток-200» одинаковы и представляют собой сплошную легкую полумаску- фильтр из материала ФПП (фильтрующее полотно Петрянова). В нерабо- чем состоянии респиратор имеет вид круга. Каркасность его в рабочем со- стоянии обеспечивают пластмассовая распорка и алюминиевая пластина. Плотное прилегание респиратора к лицу достигается при помощи резино- вого шнура, вшитого в периметр круга, а также благодаря электростатиче- скому заряду материала ФПП, который образует полосу обтюрации. На го- лове респиратор крепят четырьмя шнурами.

Противоаэрозольные респираторы. В качестве фильтров в респираторах используют тонковолокнистые фильтровальные материалы. Наибольшее распространение получили полимерные фильтровальные материалы типа ФП (фильтр Петрянова) благодаря их хорошей эластичности, большой пылеемкости, а главное, высоким фильтрующим свойствам. Важной отличительной особенностью материалов ФП, изготовленных из перхлорвинила и других полимеров, обладающих изоляционными свойствами, является то, что они несут электростатические заряды, которые резко повышают эффективность улавливания аэрозолей и пыли.

Респиратор противопылевый У-2К (в гражданской обороне Р-2) обеспечивает защиту органов дыхания от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, радиоактивной и другой пыли, от некоторых бактериальных средств, дустов и порошкообразных удобрений, не выделяющих токсичные газы и пары. Использовать респиратор целесообразно при кратковременных работах небольшой интенсивности и запыленности воздуха. Не рекомендуется применять, когда в атмосфере сильная влага.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, наружный

фильтр которой изготовлен из полиуретанового поропласта зеленого цвета, а внутренняя его часть – из тонкой воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки, в которую вмонтированы два клапана вдоха (рис. 9.7). Клапан выдоха размещен в передней части полумаски и защищен экраном. Между поропластом и полиэтиленовой пленкой расположен второй фильтрующий слой из материала ФП. Для плотного прилегания респиратора к лицу в области переносицы имеется носовой зажим – фигурная алюминиевая пластина. Респиратор крепится при помощи регулируемого оголовья.



Рис. 7.7. Респираторы У-2К (Р-2)

Респираторы У-2К изготавливаются трех ростов, которые обозначаются на внутренней подбородочной части полумаски. Определение роста производится путем измерения высоты лица человека, т. е. расстояния между точкой наибольшего углубления переносицы и самой нижней точкой подбородка. При величине измерения от 99 до 109 мм берут первый рост, от 109 до 119 мм – второй, от 119 и выше – третий.

Принцип действия респиратора основан на том, что при вдохе воздух последовательно проходит через фильтрующий полиуретановый слой маски, где очищается от грубодисперсной пыли, а затем через фильтрующий полимерный материал (ФП), в котором происходит очистка воздуха от тонкодисперсной пыли. После очистки вдыхаемый воздух через клапаны вдоха попадает в подмасочное пространство и в органы дыхания.

При выдохе воздух из подмасочного пространства выходит через клапан

выдоха наружу.

Чтобы подогнать респиратор У-2К (Р-2), нужно:

- вынуть его из полиэтиленового мешочка и проверить его исправность, надеть полумаску на лицо так, чтобы подбородок и нос разместились внутри нее, одна нерастягивающаяся тесьма оголовья располагалась бы на теменной части головы, а другая – на затылочной;
- с помощью пряжек, имеющихся на тесемках, отрегулировать их длину (для чего следует снять полумаску) таким образом, чтобы надетая полумаска плотно прилегала к лицу;
- на подогнанной надетой полумаске прижать концы носового зажима к носу.

Для проверки плотности прилегания респиратора к лицу необходимо плотно закрыть отверстия предохранительного экрана клапана выдоха ладо- нью и сделать легкий выдох. Если при этом по линии прилегания полумаски к лицу воздух не выходит, а лишь несколько раздувает респиратор, значит, он надет герметично. Если воздух проходит в области носа, то надо плотнее прижать концы носового зажима.

После снятия респиратора необходимо удалить пыль с наружной части полумаски с помощью щетки или вытряхиванием. Внутреннюю поверхность необходимо протереть и просушить, после чего респиратор необходимо вложить в полиэтиленовый пакет, который закрывается кольцом. Противоаэрозольный респиратор Ф-62Ш (однопатронный) – это средство индивидуальной защиты органов дыхания человека от различных видов промышленных пылей, он не защищает от газов, паров вредных ве- ществ, аэрозолей органических соединений. Предназначен для защиты от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, табачной пыли, пыли порошкообразных удобрений и интоксицидов, а также других видов пыли, не выделяющих токсичных газов. Широко применяется шахтерами. Респиратор противоаэрозольный ФА-2002 предназначен для защиты лица, глаз, органов дыхания от аэрозолей различной

природы (пыль, дым, туман) при их суммарной концентрации не более 15 ПДК и при концентрации кислорода не менее 17 % (Рис. 7.8).



Ф-62Ш ФА-2002

Рис. 7.8. Респираторы противоаэрозольные Ф-62Ш и ФА-2002

Универсальные респираторы

Газопылезащитные респираторы занимают как бы промежуточное положение между респираторами противопылевыми и противогазами. Они легче, проще и удобнее в использовании, чем противогаз. Однако защищают только органы дыхания при концентрации вредных веществ не более 10–15 ПДК. Глаза, лицо остаются открытыми. Вместе с тем такие респираторы во многих случаях довольно надежно предохраняют человека в газовой и пылегазовой среде.

Респиратор газопылезащитный РУ-60М (рис. 7.9) защищает органы дыхания от воздействия вредных веществ, присутствующих в воздухе одновременно в виде паров, газов и аэрозолей (пыли, дыма, тумана).



Рис. 7.9. Респиратор газопылезащитный (РУ-60М)

Запрещается применять эти респираторы для защиты от высокотоксичных

веществ типа синильной кислоты, мышьяковистого, фосфористого, цианистого водорода, тетраэтилсвинца, низкомолекулярных углеводородов (метан, этан), а также от веществ, которые в парогазообразном состоянии могут проникнуть в организм через неповрежденную

кожу. Респиратор РУ-60М состоит из резиновой полумаски, обтюратора, поглощающих патронов (марки А, В, КД, Г), пластмассовых манжет с клапанами вдоха, клапана выдоха с предохранительным экраном и оголовья. С этими респираторами разрешается работать в средах, где концентрация пыли не более 100 мг/м^3.

Противогазовые респираторы. Респиратор противогазовый (РПГ-

67) – это средство индивидуальной защиты, применяется на предприятиях химической, металлургической и в других отраслях производства при концентрациях вредных веществ, не превышаю-

щих 10–15 ПДК.

Газодымозащитный комплект. Статистика показывает, что пожары с большим количеством человеческих жертв чаще всего встречаются в гостиницах, театрах, универсамах, ресторанах, вечерних клубах, учебных заведениях, на предприятиях, использующих легковоспламеняю- щиеся материалы.

Помещения быстро заполняются окисью углерода и другими токсическими газами. Люди гибнут от отравлений. Чтобы защитить органы дыхания и глаза от ядовитых газов, а голову человека от огня при выходе из горящего помещения, создан специальный газодымозащитный комплект (Рис. 9.10).



Рис. 9.10 Газодымозащитный комплект

Газодымозащитный комплект (ГДЗК) состоит из огнестойкого капюшона с прозрачной смотровой пленкой. В нижней части расположена эластичная манжета.

Внутри капюшона находится резиновая полумаска, в которой закреплен фильтрующе-сорбирующий патрон с клапаном вдоха. ГДЗК имеет регулируемое оголовье. При надевании следует широко растянуть эластичную манжету и накинуть капюшон на голову так, чтобы

манжета плотно облегала шею, при этом длинные волосы заправляются под капюшон. Очки можно не снимать. ГДЗК обеспечивает защиту от окиси углерода и цианистого водорода не менее 15 мин. Сопротивление при вдохе при 30 л/мин – не более 149 Па (15 мм вод. ст). Масса 800 г. Комплект хранится в картонной коробке в пакете из трехслойной полиэтиленовой пленки.

Капюшон «Феникс» предназначен для самостоятельной эвакуации из мест возможного отравления химически опасными и вредными вещест- вами. Защищает от продуктов горения, аэрозолей, паров и газов, опасных химических веществ, образующихся при аварийных ситуациях (Рис. 9.11).

Самоспасатели СИП-1, СПИ-20, СПФ, «Экстремал ПРО» (Рис. 9.11) предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания, токсичной и задымленной газовой среды. Применяются при экстренной эвакуации людей в случае террористических актов, а также с мест пожара в общественных зданиях, на транспорте, из жилых домов и т. п.



а *б* *в* *г*

Рис. 9.11. Самоспасатели:

а – СИП-1; б – СПИ-20; в – СПФ; г – капюшон «Феникс»; д – «Экстремал ПРО».

Самоспасатель противопожарный СИП-1 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и головы при самостоятельной эвакуации из помещений (гостиниц, высотных зданий, вагонов) во время пожара или при других аварийных ситуациях, от любых вредных веществ независимо от их концентрации и при недостатке кислорода в воздухе.

Порядок выполнения работы

1. Записать название и цель работы.
2. Законспектировать виды и назначение противогазов в виде табл. 7.3.

Таблица 7.3

Виды и назначение противогазов

Наименование и марка	Назначение, вид веществ, от которых защищает	Комплектация	Примечание*
Фильтрующие противогазы			
Гражданские			
ГП-5			
…			

… т. д.			

*В примечании указать, для каких возрастных групп предназначен, особенности мар- ки и т. п.

3. Указать правила пользования противогазами.

4. Измерить при помощи гибкого сантиметра лицевую часть головы и подобрать для себя размер противогаза ГП-5 (ГП-7) по росту.

5. Измерить при помощи гибкого сантиметра высоту своего лица и подобрать размер респиратора У-2К.

6. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности : учеб. для вузов / С. В. Белов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 2009. – 616 с.

2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера : учеб. пособие для вузов / В. А. Акимов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2008. – 592 с.

3. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрез- вычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Вишняков [и др.]. – М. : Академия, 2008. – 304 с.

4. Емельянов В. М., Коханов В. Н., Некрасов П. А. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов. – М. : Академический проект : Трикста, 2005. – 480 с.

5. Вознесенский В. В. Средства защиты органов дыхания и кожи. Противога- зы, респираторы и защитная одежда, основы их эксплуатации : учеб. пособие. – М. : Воен. знания, 2010. – 80 с.

6. Семенов С. Н., Лысенко В. П. Проведение занятий по гражданской обороне : метод. пособие. – М. : Высш. шк., 1990. – 96 с.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8. ИНЖЕНЕРНАЯ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАЩИТА. ВИДЫ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ В НИХ

Наименование работы: Действия населения при ЧС военного характера.

Цель: изучить действия населения при ЧС военного характера при угрозе применения радиационного, химического или биологического оружия, определить применяемые средства индивидуальной защиты, обосновать выбор защитных сооружений.

Время: 4 часа

Материально-техническое обеспечение: инструкционная карта, ручка, противогаз, респиратор, ватно-марлевая повязка

Методика выполнения

Задание:

1. Изучить индивидуальные средства защиты населения.

2. Изучить виды укрытий и правила поведения в убежищах и укрытиях.

3. Изучить применение СИЗ при угрозе применения химического и биологического оружия.

4. Отчет о работе оформить в виде плана-конспекта.

5. Заполнить таблицу.

№	ЧС	Опасность	Поражающие факторы	Основные средства защиты

Ядерное оружие – самое страшное оружие современности. Поражение людей при его применении зависит от того, где они находились в момент ядерного взрыва. Наиболее эффективным средством защиты от всех поражающих факторов ядерного оружия являются убежища (укрытия). Находясь в убежищах (укрытиях), необходимо постоянно держать в готовности к немедленному использованию средства индивидуальной защиты. Средства индивидуальной защиты подразделяют на средства индивидуальной защиты

органов дыхания (СИЗОД), средства индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), средства индивидуальной защиты кожи (СИЗК). К средствам защиты органов дыхания человека относятся противогазы (фильтрующие (рис.8.1.) и изолирующие (рис.2.)) и респираторы (рис.3.), а также простейшие средства защиты – противопыльные тканевые маски (ПТМ-1) (рис.4.) и ватно-марлевые повязки (рис.5.), изготовляемые обычно силами самого населения.

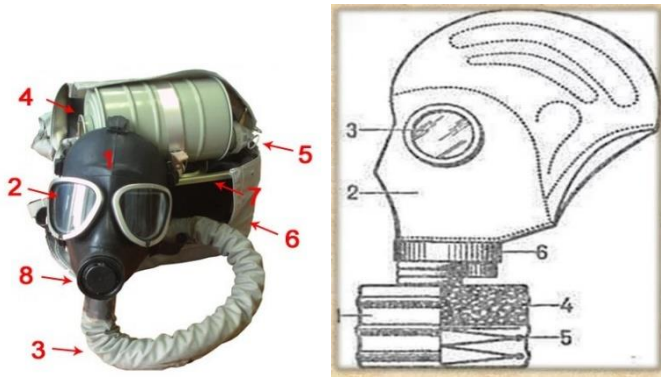


Рис. 8.1 Фильтрующий противогаз

1-фильтрующе-поглощающая коробка; 2-лицевая часть противогаза; 3-очковой узел; 4-шихга (обеспечивает поглощение паров и газов, и токсичных в-в); 5-ПАФ (противоаэрозольный фильтр); 6-клапанная коробка.



Рис.8.2. Изолирующий противогаз

1-лицевая часть, 2-очковый узел, 3-соеденительная трубка, 4-регенераторный патрон, 5-пусковое устройство патрона, 6-дыхательный мешок, 7-каркас, 8-устройство для переговоров.

Порядок надевания противогаза:

1. По команде «Газы!» задержите дыхание, не вдыхая воздух.

2. Закрыть глаза.

3. Достать противогаз из противогазной сумки, левой рукой доставая противогаз, а правой держа сумку снизу.

4. Вынуть пробку-заглушку из противогазной коробки.

5. Перед надеванием противогаза расположить большие пальцы рук снаружи, а остальные внутри.

6. Приложить нижнюю часть шлем-маски на подбородок.

7. Резко натянуть противогаз на голову снизу-вверх.

8. Выдохнуть.

9. Необходимо, чтобы после не образовалось складок, очковый узел должен быть расположен на уровне глаз.

10. Перевести сумку на бок.

Снятие:

1. По команде «Отбой!» брать за фильтровальную коробку и, потянув сверху-вниз, снять его.

2. Убрать противогаз в противогазную сумку.

3. Застегнуть пуговицы.

Таблица 8.0

Подбор размера противогаза

Обхват головы	Размер противогаза
До 63	0
63,5-65,5	1
66-68	2
68,5-70,5	3
71 и более	4

В качестве защиты органов дыхания от радиоактивной пыли и различных вредных аэрозолей могут быть использованы респираторы. Они просты в применении, малогабаритны и рассчитаны на массовое применение. Широко используются при выполнении работ, связанных с пылеобразованием.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, снабженную двумя клапанами вдоха, клапаном выхода (с предохранительным экраном), оголовьем, состоящим из эластичных растягивающихся (и не растягивающихся) тесемок, и носовым зажимом. Работать в нем можно до 12 ч

Респираторы Р-2 изготовляются трех ростов -1,2 и 3-го, которые обозначаются внутренней подбородочной части полумаски.

Простейшими средствами защиты органов дыхания человека от радиоактивной пыли и биологических средств (при действиях во вторичном облаке) являются противопыльная тканевая маска ПТМ-1 (рис.8.3).

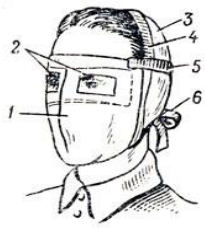


Рис.8.3. Противопыльная тканевая маска

1-корпус маски, 2-смотровые отверстия, 3-крепления, 4-резиновая тесьма, 5-поперечная резинка, 6-завязки.

И ватно-марлевая повязка (рис.8.4.) От ОВ (отравляющих веществ) они не защищают. Их изготавливает преимущественно само население. Маска состоит из корпуса и крепления. Корпус шьется из двух одинаковых по форме тканевых фильтрующих половинок, собранных на 4-5 слоев. На нем имеются смотровые отверстия со вставленными стеклами. Крепится маска на голове при помощи вставленной резинки и двух завязок.

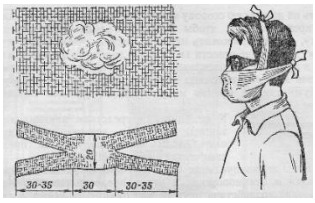


Рис.8.4. Ватно-марлевая повязка

Ватно-марлевая повязка изготовляется из куска марли размером 100 х50 см и ваты. На марлю накладывают слой ваты толщиной 2-3 см, длинной 30 см, шириной 20 см. Марлю с обеих сторон загибают и накладывают на вату. Концы марли разрезают на 30-35 см с каждой стороны, чтобы образовались две пары завязок. Марлевые повязки делают из 10-12 слоев марли. Они шьются также в виде маски, закрывающей лицо или только подбородок, нос и рот. Для защиты глаз используются противопыльные очки.



Рис.8.5.Защитные очки

К средствам индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), в первую очередь, относятся защитные очки, предохраняющие от пыли, твердых частиц, химически неагрессивных жидкостей и газов, от слепящего яркого света, ультрафиолетового, инфракрасного излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействия летящих твердых частиц, а так же очкизащищающие от лазерного излучения и других опасных факторов.

К **средствам индивидуальной защиты кожи (СИЗК)** относят защитную одежду фильтрующего и изолирующего типа. К изолирующим средствам защиты кожи относятся общевойсковой комплексный защитный костюм (ОКЗК), общевойсковой защитный комплекс (ОЗК) (рис.8.6.), легкий защитный костюм (Л-1) , защитный комбинезон или костюм.

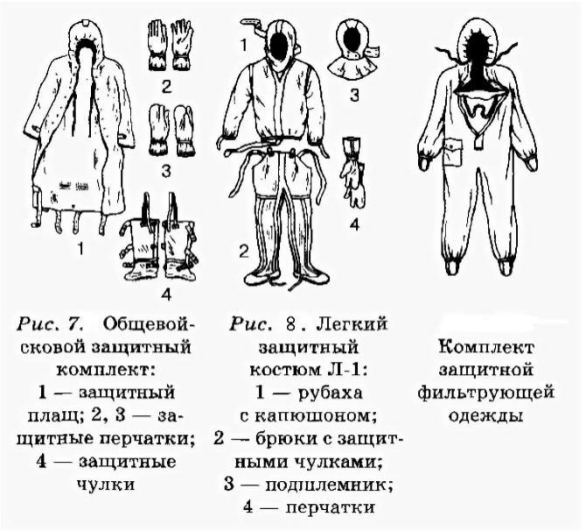


Рис. 7. Общевойсковой защитный комплект: 1 — защитный плащ; 2, 3 — защитные перчатки; 4 — защитные чулки

Рис. 8. Легкий защитный костюм Л-1: 1 — рубаха с капюшоном; 2 — брюки с защитными чулками; 3 — подшлемник; 4 — перчатки

Комплект защитной фильтрующей одежды

Рис. 8.6 Защитный костюм

Общевойсковой комплексный защитный костюм (ОЗК) предназначен для комплексной защиты от светового излучения и радиоактивной пыли, паров и аэрозолей ОВ и биологических аэрозолей. Он состоит из пропитанных специальным составом куртки, брюк, защитного белья, головного убора, подшлемника.

Простейшие средства защиты кожи применяются при отсутствии табельных средств. Может быть использована прежде всего производственная одежда (спецовка) – куртка и брюки, комбинезоны, халаты с капюшоном, сшитые из брезента, огнезащитной или прорезиненной ткани, грубого сукна. Они способны не только защищать от попадания на кожу людей радиоактивных веществ и биологических средств, но и не пропускать в течение некоторого времени капельножидких отравляющих веществ.

Обычная одежда, обработанная специальной пропиткой, может защищать и от паров отравляющих веществ. В качестве пропитки используют моющие средства или мыльно-масляную эмульсию. Основные представители неионогенных моющих средств – ОП-7 и ОП-10 (ОП-7иОП-10 - вспомогательные вещества, представляющие собой продукты обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена. Вспомогательные вещества ОП-7 и ОП-10 относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам. Применяются в качестве смачивающих, эмульсирующих, стабилизирующих поверхностно-активных веществ. Хорошо растворимы в воде). Синтетические моющие средства в чистом виде используются редко и служат исходным материалом для приготовления моющих средств, которые состоят из моющего вещества, активных добавок (соли фосфорной кислоты, сульфат натрия, метасиликат натрия и др.) и веществ, предохраняющих кожу (карбоксиметилцеллюлоза, дермоланы – высокомолекулярные циклические соединения, содержащие группы SO_2,NH_4,далгоны – конденсированные фосфаты).

Придать повседневной одежде защитные от отравляющих веществ свойства можно, пропитав ее раствором, который может быть приготовлен в домашних условиях. 2,5-3 л раствора, необходимого для пропитки одного комплекта одежды, можно получить если растворить 250-300 г измельченного хозяйственного мыла в 2-3 л горячей воды (60-70 ° С), добавить в раствор 0,5 л минерального (машинного) и другого масла и, подогревая,перемешивать раствор до получения однородной мыльно-масляной эмульсии. Одежду помещают в большую емкость (бак, ведро) и заливают раствором. Пропитанная одежда отжимается и просушивается (утюжке не подлежит).

В летную жаркую погоду необходимо соблюдать установленные сроки работы в защитной одежде. Зимой для предупреждения обмораживания следует надевать ее на ватник, использовать подшлемник, теплые портянки, в резиновые сапоги подкладывать теплые стельки, защитные перчатки одевать поверх обычных шерстяных или фланелевых. Обычно длительность пребывания людей в убежищах зависит от степени радиоактивного заражения местности. Если убежище находится в зоне заражения с уровнями радиации от 8 до 80 Р/ччерез один час после ядерного взрыва, то время пребывания в нем укрываемых людей составит от нескольких часов до одних суток (рис.8.7) .



Рис.8. 7. Ватно-марлевая повязка

В зоне заражения с уровнями радиации от 80 до 240 Р/ч нахождение людей в защитном сооружении увеличивается до 3 сут. В зоне заражения с уровнем радиации 240 Р/ч и выше это время составит 3 сут. и более. По истечении указанных сроков из убежищ (укрытий) можно перейти в жилые помещения. В течение последующих 1-4 сут. (в зависимости от уровней радиации в зонах

заражения) из таких помещений можно периодически выходить наружу, но не более чем на 3-4 ч в сутки.

В условиях сухой и ветреной погоды, когда возможно пылеобразование, при выходе из помещений следует использовать СИЗОД. Чтобы благополучно пережить указанные сроки пребывания в убежищах, необходимо иметь запасы продуктов питания (не менее чем на 4 сут. (крупы, сахар и соль, галеты, сухари, консервы, макаронные изделия, мука, сухофрукты, шоколад, подсолнечное масло, мед, варенье. уксус, вода)), питьевой воды (из расчета 3 л на человека в сутки), а также предметы первой необходимости и медикаменты.

Если в результате ядерного взрыва убежище (укрытие) окажется поврежденным, принимают меры к быстрому выходу из него, надев СИЗОД. Если основным и ли запасным выходом воспользоваться невозможно, приступают к расчистке одного из заваленных выходов или к проделыванию выхода. После выхода из очага ядерного поражения (зоны радиоактивного заражения) необходимо провести частичную дезактивацию и санитарную обработку, т.е. удалить радиоактивную пыль. При частичной дезактивации следует осторожно снять одежду, ни в коем случае не снимая СИЗОД. Встав спиной к ветру, вытряхнуть ее, развесить одежду на перекладине или веревке и обмести с нее пыль сверху вниз с помощью щетки или веника. Одежду можно выколачивать и палкой.

После этого следует продезактивировать обувь: протереть тряпками и ветошью, смоченными водой, очистить веником или щеткой. Резиновую обувь можно мыть. Противогаз дезактивируют в особой последовательности. Фильтрующе-поглощающую коробку вынимают из сумки, сумку тщательно вытряхивают. Затем тампоном, смоченным мыльной воде, моющим раствором или жидкостью из противохимического пакета обрабатывают фильтрующе-поглощающую коробку, соединительную трубку и наружную поверхность шлема-маски (маски). Лишь после этого противогаз снимают.

Противопыльные тканевые маски при дезактивации тщательно вытряхивают, чистят щетками, при возможности полощут или стирают в воде. Зараженные ватно-марлевые повязки сжигают. При частичной санитарной обработке открытые участки тела: руки, лицо, шею, глаза обмывают незараженной водой. Нос, рот и горло полощут. Важно, чтобы при обмывке лица зараженная вода не попала в глаза, рот и нос. При недостатке воды обработку проводят путем многократного протирания участков тела тампонами из марли (ваты, пакли, ветоши), смоченными незараженной водой. Протирание следует проводить сверху вниз. каждый раз переворачивая тампон чистой стороной. Зимой может использоваться незараженный снег.

Летом санитарную обработку можно организовать в реке или другом проточном водоеме. Частичная дезактивация и санитарная обработка, проводимые в одноразовом порядке, не всегда гарантируют полное удаление радиоактивной пыли. Потому после их проведения обязательно проводится дозиметрический контроль. Если заражение одежды и тела окажется выше допустимой нормы, частичные дезактивацию и санитарную обработку повторяют. В необходимых случаях проводится полная санитарная обработка. Своевременно проведенные частичные дезактивация и санитарная обработка могут полностью предотвратить или сильно снизить степень поражения людей радиоактивными веществами.

Если люди во время ядерного взрыва находятся вне убежища укрытия, следует использовать естественные ближайшие укрытия (рис.10). Если таких укрытий нет, надо повернуться к взрыву спиной, лечь на землю лицом вниз, руки спрятать под себя. Через 15-20 с. после взрыва, когда пройдет ударная волна, следует встать и немедленно надеть противогаз, респиратор или какое-либо другое СИЗОД. В случае отсутствия специальных средств следует закрыть рот и нос платком, шарфом или плотным материалом.

Задача состоит в том, чтобы исключить попадание внутрь организма радиоактивных веществ. Их поражающее действие бывает значительным в

течение длительного времени, поскольку выведение их из организма происходит медленно. Далее необходимо стряхнуть осевшую на одежду и обувь пыль, надеть имеющиеся средства защиты кожи.

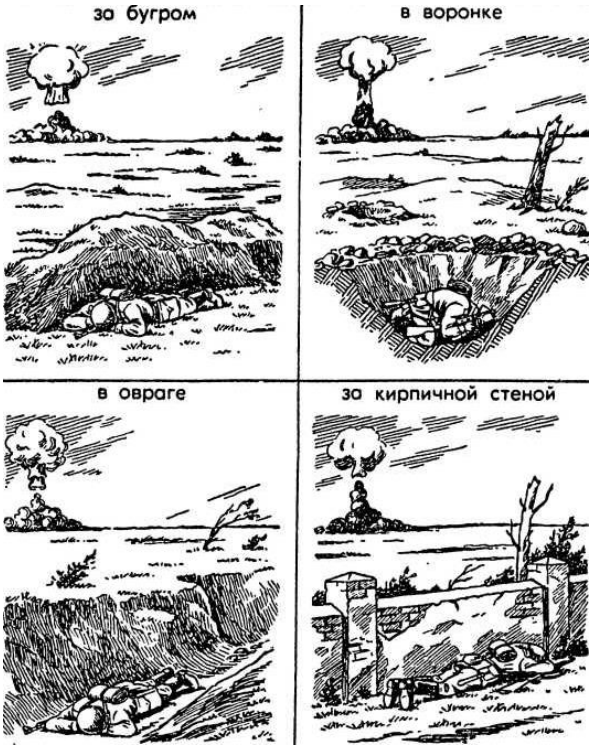


Рис 8.8 Естественные укрытия при внезапном ядерном взрыве

Для этого можно использовать имеющиеся одежду и обувь. Затем следует побыстрее покинуть очаг поражения или укрыться в ближайшем защитном сооружении.

Оставаться на зараженной радиоактивными веществами местности вне убежищ (укрытий), несмотря на использование средств индивидуальной защиты, опасно. Это сопряжено с возможностью облучения и, как следствие, развития лучевой болезни. В целях уменьшения возможности поражения радиоактивными веществами в зонах заражения запрещается принимать пищу, пить и курить. Приготовление пиши должно вестись на незараженной местности или, в крайнем случае, на местности, где уровень радиации не превышает 1 Р/ч. При выходе из очага поражения необходимо учитывать, что в результате ядерных взрывов разрушаются здания, сети коммунального хозяйства. При этом отдельные элементы зданий могут обрушиться через некоторое время после взрыва.

Продвигаться надо посередине улицы, стараясь возможно быстрее попасть в безопасное место. Нельзя трогать электропровода. Направление движения из очага поражения следует выбирать, ориентируясь на знаки ограждения, расставленные разведкой гражданской обороны. Они ведут всторону снижения уровней радиации. Двигаясь по зараженной территории, надо стараться не поднимать пыли, обходить лужи, не создавать брызг.

В результате применения химического оружия возникают очаги химического поражения-территории, в пределах которой в результате воздействия химического оружия произошли массовые поражения людей и сельскохозяйственных животных. Размеры очага зависят от масштаба и способа применения БТХВ (боевые токсичные химические вещества - это химические соединения, которые способны поражать людей и животных на больших площадях, проникать в различные сооружения, заражать местность и водоемы), его типа метеорологических условий, рельефа местности. Особенно опасны стойкие БТХВ нервнопаралитического действия. Их пары распространяются по ветру на довольно большое расстояние (15-25 км и более). Поэтому люди и животные могут быть поражены ими не только в районе применения химических боеприпасов, но и далеко за его пределами. Длительность поражающего действия БТХВ тем меньше, чем сильнее ветер и восходящие потоки воздуха. В лесах, парках, оврагах, на узких улицах они сохраняются дольше, чем на открытой местности. Современные отравляющие вещества обладают чрезвычайно высокой токсичностью.

При обнаружении признаков применения противником отравляющих веществ, далее ОВ (по сигналу «Химическая тревога») надо срочно надеть противогаз, а в случае необходимости - средства защиты кожи. Если поблизости имеется убежище, нужно укрыться в нем. Перед тем как войти в убежище, следует снять использованные средства защиты кожи и верхнюю одежду и оставить их в тамбуре убежища. Эта мера предосторожности исключает занос ОВ в убежище. Противогаз снимают после входа в убежище.

При пользовании укрытием, например, подвалом, не следует забывать, что оно м служить защитой лишь от попадания на кожные покровы и одежду капельножидких ОВ. Однако оно не защищает от паров или аэрозолей отравляющих веществ, находящихся в воздухе. Находясь в таких укрытиях, при наружном заражении обязательно надо воспользоваться противогазом. Находиться в убежище (укрытии) следует до получения распоряжения на выход из него. Когда такое распоряжение поступит, необходимо надеть требуемые средства индивидуальной защиты - противогазы и средства защиты кожи и выйти за пределы очага поражения по направлениям, обозначенным специальными указателями. Если нет ни указателей, ни постов, то двигаться следует перпендикулярно направлению ветра.

На зараженной ОВ территории надо двигаться быстро, но не пыль (брызги). Нельзя прислоняться к зданиям и прикасаться к окружающим предметам. Не следует наступать на видимые капли и мазки ОВ. На зараженной территории запрещается снимать противогазы и другие средства защиты. Особо осторожно нужно двигаться через парки, сады, огороды и поля. На листьях и ветках растений могут находиться осевшие капли ОВ, при прикосновении к ним можно заразить одежду и обувь, что может привести к поражению.

По возможности следует избегать движения оврагами и лощинами, через луга и болота, в этих местах возможен длительный застой паров ОВ. В городах пары ОВ могут застаиваться в замкнутых кварталах, парках, а также в подъездах и на чердаках домов. Зараженное облако в городе распространяется на наибольшие расстояния по улицам,тоннелям, трубопроводам.

ОВ на кожных покровах, одежде, обуви или средствах индивидуальной защиты необходимо немедленно снять их тампонами из марли или ваты; если таких тампонов нет, капли ОВ можно снять тампонами из бумаги или ветоши. Пораженные места следует обработать раствором из противохимического пакета или тщательно промыть теплой водой с мылом. После выхода из очага

химического поражения немедленно проводится полная санитарная обработка. Если это невозможно, проводятся частичные дегазация и санитарная обработка.

Очагом биологического поражения считаются территорииподвергшиеся непосредственному воздействию бактериальных (биологических) средств, создающих источник распространения инфекционных заболеваний. Заражение людей и животных происходит в результате вдыхания зараженного воздуха, попадания микробов или токсинов на слизистую оболочку и поврежденную кожу, употребления в пищу зараженных продуктов питания и воды.

Причиной заражения могут быть укусы зараженных насекомых и клещей, соприкосновения с зараженными предметами, ранения осколками боеприпасов, снаряженных БС (биологические средства поражения - общее название болезнетворных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, предназначенных для использования в системах биологического оружия с целью поражения людей, животных и растений). Заражение возможно также в результате непосредственного общения с больными людьми (животными). Ряд заболеваний быстро передается от больных людей к здоровым и вызывает эпидемии (чума, холера, тиф, грипп и др.). К основным средствам защиты населения от биологического оружия относятся вакциносывороточные препараты, антибиотики, сульфамидные и другие лекарственные вещества, используемые для специальной и экстренной профилактики инфекционных болезней.

Употребимы такие средства индивидуальной и коллективной защиты. Своевременное и правильное применение средств индивидуальной защиты и защитных сооружений предохранит от попадания БС в органы дыхания, на кожные покровы и одежду. Необходимо строгое соблюдение правил личной гигиены и санитарно-гигиенических требований к питанию и водоснабжению населения. Приготовление и прием питии должны исключать возможность ее заражения бактериальными средствами. Посуду необходимо мыть дезинфицирующими растворами или обрабатывать кипячением. В случае

применения противником биологического оружия возможно возникновение значительного количества инфекционных заболеваний.

Основными формами борьбы с эпидемиями являются обсервация и карантин. Делается это в тех случаях, когда примененные возбудители болезней относятся к особо опасным (чума, холера и др.). Карантинный режим предусматривает полную изоляцию очага поражения от окружающего населения. Это наиболее эффективный способ противодействия распространению инфекционных заболеваний. На внешних границах зоны карантина устанавливается вооруженная охрана, выход людей, вывод животных и вывоз имущества запрещаются. Транзитный проезд транспорта через очаги поражения запрещается. Объекты экономики переходят на особый режим работы со строгим выполнением противоэпидемических требований. Рабочие смены разбиваются на отдельные группы как можно более малочисленные по составу. Контакт между ними сокращается до минимума. Питание и отдых рабочих и служащих организуются по группам в специально отведенных для этого помещениях. Работа учебных заведений, зрелищных учреждений, рынков и т.д. прекращается. Людям не разрешается без крайней необходимости выходить их своих квартир. Продукты питания, вода и предметы первой необходимости доставляются им специальными командами.

При выполнении срочных работ вне зданий люди должны быть обязательно в средствах индивидуальной защиты. Если установленный вид возбудителя не относится к группе особо опасных, вместо карантина применяется обсервация. Она предусматривает медицинское наблюдение за очагом поражения и проведение необходимых лечебно-профилактических мероприятий. Изоляционно-ограничительные меры при обсервации менее строгие: организуются дезинфекция, дезинсекция и дератизация.

Дезинфекция имеет целью обеззараживание объектов внешней среды, которые необходимы для нормальной деятельности и безопасного нахождения

людей. Для дезинфекции применяются растворы хлорной извести и хлорамина, лизол, формалин, могут использоваться горячая вода (с мылом или содой) и пар.

Дезинсекция и дератизация-это мероприятия, связанные соответственно с уничтожением насекомых и истреблением грызунов, которые являются переносчиками инфекционных заболеваний. Для уничтожения насекомых применяют физические (кипячение, проглаживание накаленным утюгом и др.), химические (применение дезинсектирующих средств) и комбинированные способы.

Истребление грызунов в большинстве случаев проводят с помощью механических приспособлений (ловушек различных типов) и химических препаратов. После проведения дезинфекции, дезинсекции и дератизации проводится полная санитарная обработка лиц, принимавших участие в осуществлении названных мероприятий. При необходимости организуется санитарная обработка и остального населения.

Контрольные вопросы

1. Перечислите СИЗОД.

2. Перечислите СИЗ кожи.

3. Назовите порядок изготовления ВМП.

4. При каких опасностях используются индивидуальные средства защиты?

5. Что является основным средством защиты при угрозе применения ядерного оружия?

6. Что относится к основным средством защиты населения от биологического оружия?

7.Какие индивидуальные средства защиты применяются при химической угрозе?

8. Какие действия предполагает санитарная обработка?

9. В чем отличие дезинфекции от дезинсекции?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.Косолапова Н.В. Основы безопасности жизнедеятельности: учебник / Н.В. Косолапова, Н.А. Прокопенко. – 3-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013. – 320 с.: ил.

2. Безопасности жизнедеятельности: учебник / Е.А. Арустамов. – 9-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013 с.: ис.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Физической культуры	Горно-технологического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Шулиманов Д.Ф.	Барановский В.П
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 14 от 03.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….....3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы …….3
Требования к оформлению теста ……..…….....3
Содержание теста…….....3
Содержание опроса…….....9
Выполнение работы над ошибками……...……..11

Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Физическая культура и спорт» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

Требования к оформлению теста

Задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в тесте.

Выполненный тест необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если тест выполнен без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «физическая культура и спорт» представлен, тест, вопросы для проведения опроса.

Содержание теста

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Физическая культура представляет собой:	А) учебный предмет в школе Б) выполнение физических упражнений В) процесс совершенствования возможностей человека Г) часть общей культуры общества
2	Физическая подготовленность, приобретаемая в процессе физической подготовки к трудовой или иной деятельности, характеризуется:	А) высокой устойчивостью к стрессовым ситуациям, воздействию неблагоприятных условий внешней среды и различным заболеваниям Б) уровнем работоспособности и запасом двигательных умений и навыков В) хорошим развитием систем дыхания, кровообращением, достаточным запасом надежности, эффективности и экономичности Г) высокими результатами в учебной, трудовой и спортивной деятельности
3	Под физическим развитием понимается:	А) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни Б) размеры мускулатуры, формы тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность В) процесс совершенствования физических качеств при выполнении физических упражнений

		Г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом
4	Физическая культура ориентирована на совершенствование	А) физических и психических качеств людей Б) техники двигательных действий В) работоспособности человека Г) природных физических свойств человека
5	Отличительным признаком физической культуры является:	А) развитие физических качеств и обучение двигательным действиям Б) физическое совершенство В) выполнение физических упражнений Г) занятия в форме уроков
6	В иерархии принципов в системе физического воспитания принцип всестороннего развития личности следует отнести к:	А) общим социальным принципам воспитательной стратегии общества Б) общим принципам образования и воспитания В) принципам, регламентирующим процесс физического воспитания Г) принципам обучения
7	Физическими упражнениями называются:	А) двигательные действия, с помощью которых развивают физические качества и укрепляют здоровье Б) двигательные действия, дозируемые по величине нагрузки и продолжительности выполнения В) движения, выполняемые на уроках физической культуры и во время утренней гимнастики Г) формы двигательных действий, способствующие решению задач физического воспитания
8	Нагрузка физических упражнений характеризуется:	А) подготовленностью занимающихся в соответствии с их возрастом, состоянием здоровья, самочувствием во время занятия Б) величиной их воздействия на организм В) временем и количеством повторений двигательных действий Г) напряжением отдельных мышечных групп
9	Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:	А) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий Б) степенью преодолеваемых при их выполнении трудностей В) утомлением, возникающим при их выполнении Г) частотой сердечных сокращений
10	Если ЧСС после выполнения упражнения восстанавливается за 60 сек до уровня, который был в начале урока, то это свидетельствует о том, что нагрузка	А) мала и ее следует увеличить Б) переносится организмом относительно легко В) достаточно большая и ее можно повторить Г) чрезмерная и ее нужно уменьшить
11	Интенсивность выполнения упражнений можно определить по ЧСС. Укажите, какую частоту пульса вызывает большая интенсивность упражнений	А) 120-130 уд/мин Б) 130-140 уд/мин В) 140-150 уд/мин Г) свыше 150 уд/мин
12	Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:	А) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости Б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации В) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения.

		Г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнить большой объем физической работы за отведенный отрезок времени.
13	Что понимают под закаливанием:	А) купание в холодной воде и хождение босиком Б) приспособление организма к воздействию внешней среды В) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми Г) укрепление здоровья
14	Во время индивидуальных занятий закаливающими процедурами следует соблюдать ряд правил. Укажите, какой из перечисленных ниже рекомендаций придерживаться не стоит:	А) чем ниже температура воздуха, тем интенсивней надо выполнять упражнение, т.к. нельзя допускать переохлаждения Б) чем выше температура воздуха, тем короче должны быть занятия, т.к. нельзя допускать перегревания организма В) не рекомендуется тренироваться при активном солнечном излучении Г) после занятия надо принять холодный душ
15	Правильное дыхание характеризуется:	А) более продолжительным выдохом Б) более продолжительным вдохом В) вдохом через нос и выдохом через рот Г) ровной продолжительностью вдоха и выдоха
16	При выполнении упражнений вдох не следует делать во время:	А) вращений и поворотов тела Б) наклонах туловища назад В) возвращение в исходное положение после наклона Г) дыхание во время упражнений должно быть свободным, рекомендации относительно времени вдоха и выдоха не нужны
17	Что называется осанкой?	А) качество позвоночника, обеспечивающее хорошее самочувствие и настроение Б) пружинные характеристики позвоночника и стоп В) привычная поза человека в вертикальном положении Г) силуэт человека
18	Правильной осанкой можно считать, если вы, стоя у стены, касаетесь ее:	А) затылком, ягодицами, пятками Б) лопатками, ягодицами, пятками В) затылком, спиной, пятками Г) затылком, лопатками, ягодицами, пятками
19	Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому, что:	А) он обеспечивает ритмичность работы организма Б) он позволяет правильно планировать дела в течение дня В) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня Г) он позволяет избегать неоправданных физических напряжений
20	Замена одних видов деятельности другими, регулируема режимом дня, позволяет поддержать работоспособность в течение дня, потому что:	А) это положительно сказывается на физическом и психическом состоянии человека Б) снимает утомление нервных клеток организма В) ритмическое чередование работы с отдыхом предупреждает возникновение перенапряжения Г) притупляется чувство общей усталости и повышает тонус организма

21	Систематические и грамотно организованные занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, так как	А) хорошая циркуляция крови во время упражнений обеспечивает поступление питательных веществ к органам и системам организма Б) повышается возможность дыхательной системы, благодаря чему в организм поступает большее количество кислорода, необходимого для образования энергии В) занятия способствуют повышению резервных возможностей организма Г) при достаточном энергообеспечении организм легче противостоит простудным и инфекционным заболеваниям
22	Почему на уроках физической культуры выделяют подготовительную, основную и заключительную части?	А) так учителю удобнее распределять различные по характеру упражнения Б) это обусловлено необходимость управлять динамикой работоспособности занимающихся. В) выделение частей в уроке требует Министерство образовании России Г) потому, что перед уроком, как правило, ставятся задачи, и каждая часть урока предназначена для решения одной из них
23	Укажите, в какой последовательности должны выполняться в комплексе утренней гимнастикой перечисленные упражнения: 1. Дыхательные. 2. На укрепление мышц и повышение гибкости. 3. Потягивания. 4 бег с переходом на ходьбу. 5. Ходьба с постепенным повышение частоты шагов. 6. Прыжки. 7.Поочередное напряжение и расслабление мышц. 8. Бег в спокойном темпе.	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Б) 7, 5, 8, 6, 2, 3, 2, 1, 4 В) 3, 7, 5, 8, 1, 2, 6, 4 Г) 3, 1, 2, 4, 7, 6, 8, 4
24	Под силой как физическим качеством понимается:	А) способность поднимать тяжелые предметы Б) свойство человека противодействовать внешним силам за счет мышечных напряжений В) свойство человека воздействовать на внешние силы за счет внешних сопротивлений Г) комплекс свойств организма, позволяющих преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему.
25	Выберите правильное распределение перечисленных ниже упражнений в занятии по общей физической подготовке. 1. Ходьба или спокойный бег в чередовании с дыхательными упражнениями. 2. Упражнения, постепенно включающие в работу все большее количество мышечных групп. 3. Упражнения на развитие выносливости. 4. Упражнения на развитие быстроты и гибкости. 5. упражнения на развитие силы. 6. Дыхательные упражнения.	А) 1, 2, 5, 4, 3, 6 Б) 6, 2, 3, 1, 4, 5 В) 2, 6, 4, 5, 3, 1 Г) 2,1, 3, 4, 5, 6
26	Основная часть урока по общей физической подготовке отводится развитию физических качеств. Укажите, какая последовательность воздействий на физические качества наиболее эффективна. 1. Выносливость. 2. Гибкость. 3. быстрота. 4. Сила.	А) 1, 2, 3, 4 Б) 2,3,1,4 В) 3, 2, 4, 1 Г) 4,2 ,3, 1
27	Какие упражнения неэффективны при формировании телосложения	А) упражнения, способствующие увеличению мышечной массы

		Б) упражнения, способствующие снижению массы тела В) упражнения, объединенные в форме круговой тренировки Г) упражнения, способствующие повышению быстроты движений
28	И для увеличения мышечной массы, и для снижения веса тела можно применять упражнения с отягощением. Но при составлении комплексов упражнений для увеличения мышечной массы рекомендуется:	А) полностью проработать одну группу мышц и только затем переходит к упражнениям, нагружающим другую группу мышц Б) чередовать серии упражнений, включающие в работу разные мышечные группы В) использовать упражнения с относительно небольшим отягощением и большим количеством повторений Г) планировать большое количество подходов и ограничивать количество повторений в одном подходе
29	Под быстротой как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, позволяющих передвигаться с большой скоростью Б) комплекс свойств, позволяющий выполнять работу в минимальный отрезок времени В) способность быстро набирать скорость Г) комплекс свойств, позволяющий быстро реагировать на сигналы и выполнять движения с большой частотой
30	Для развития быстроты используют:	А) подвижные и спортивные игры Б) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции В) упражнения на быстроту реакции и частоту движений Г) двигательные действия, выполняемые с максимальной скоростью
31	Лучшие условия для развития быстроты реакции создаются во время:	А) подвижных и спортивных игр Б) челночного бега В) прыжков в высоту Г) метаний
32	Под гибкостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс морфофункциональных свойств опорно-двигательного аппарата, определяющий глубину наклона Б) способность выполнять упражнения с большой амплитудой за счет мышечных сокращений. В) комплекс свойств двигательного аппарата, определяющих подвижность его звеньев Г) эластичность мышц и связок
33	Как дозируются упражнения на развитие гибкости, т.е. сколько движений следует делать в одной серии:	А) Упражнение выполняется до тех пор, пока не начнет уменьшаться амплитуда движений Б) выполняются 12-16 циклов движения В) упражнения выполняются до появления пота Г) упражнения выполняются до появления болевых ощущений
34	Для повышения скорости бега в самостоятельном занятии после разминки рекомендуется выполнять перечисленные ниже упражнения. Укажите их целесообразную последовательность: 1. Дыхательные упражнения. 2. Легкий продолжительный бег. 3. Прыжковые	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Б) 7, 5, 4, 3, 2, 6, 1 В) 2, 1, 3, 7, 4, 5, 6 Г) 3, 6, 2, 7, 5, 4, 1

	упражнения с отягощением и без них. 4. дыхательные упражнения в интервалах отдыха. 5. Повторный бег на короткие дистанции. 6.Ходьба. 7. Упражнения на частоту движений.	
35	При развитии гибкости следует стремиться	А) гармоничному увеличению подвижности в основных суставах Б) достижению максимальной амплитуды движений в основных суставах В) оптимальной амплитуде движений в плечевом, тазобедренном, коленом суставах Г) восстановлению нормальной амплитуды движений суставов
36	Под выносливостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, обуславливающий возможность выполнять разнообразные физические нагрузки Б) комплекс свойств, определяющих способность противостоять утомлению В) способность длительно совершать физическую работу, практически не утомляясь Г) способность сохранять заданные параметры работы
37	Выносливость человека не зависит от:	А) функциональных возможностей систем энергообеспечения Б) быстроты двигательной реакции В) настойчивости, выдержки, мужественности, умения терпеть Г) силы мышц
38	При развитии выносливости не применяются упражнения, характерными признаками которых являются:	А) максимальная активность систем энергообеспечения Б) умеренная интенсивность В) максимальная интенсивность Г) активная работа большинства звеньев опорно-двигательного аппарата
39	Техникой физических упражнений принято называть	А) способ целесообразного решения двигательной задачи Б) способ организации движений при выполнении упражнений В) состав и последовательность движений при выполнении упражнений Г) рациональную организацию двигательных действий
40	При анализе техники принято выделять основу, ведущее звено и детали техники. Что понимают под основой (ведущим звеном и деталями техники).	А) набор элементов, характеризующий индивидуальные особенности выполнения целостного двигательного действия Б) состав и последовательность элементов, входящих в двигательное действие В) совокупность элементов, необходимых для решения двигательной задачи Г) наиболее важная часть определенного способа решения двигательной задачи
41	В процессе обучения двигательным действиям используют методы целостного или расчлененного упражнения. Выбор метода зависит от	А) возможности расчленения двигательного действия на относительно самостоятельные элементы Б) сложности основы техники В) количества элементов, составляющих двигательное действие Г) предпочтения учителя

42	Процесс обучения двигательному действию рекомендуется начинать с освоения	А) основы техники Б) ведущего звена техники В) подводящих упражнений Г) исходного положения
43	Физкультминутку, как одну из форм занятий физическими упражнениями следует отнести к:	А) урочным формам занятий физическими упражнениями Б) «малым» неурочным формам В) «крупным» неурочным формам Г) соревновательным формам
44	Какой раздел комплексной программы по физическому воспитанию для общеобразовательных школ не является типовым?	А) уроки физической культуры Б) внеклассная работа В) физкультурно-массовые и спортивные мероприятия Г) содержание и организация педагогической практики
45	Измерение ЧСС сразу после пробегания отрезка дистанции следует отнести к одному из видов контроля:	А) оперативному Б) текущему В) предварительному Г) итоговому

Критерии оценивания теста

Оценка за тест определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 90 баллов.

Результат теста

Тест оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

46-90 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-44 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСА

1. Определение понятий в области физической культуры
2. Понятие «здоровье» и основные его компоненты
3. Факторы, определяющие здоровье человека.
4. Образ жизни и его составляющие.
5. Разумное чередование труда и отдыха, как компонент ЗОЖ.
6. Рациональное питание и ЗОЖ.
7. Отказ от вредных привычек и соблюдение правил личной и общественной гигиены.
8. Двигательная активность — как компонент ЗОЖ.
9. Выполнение мероприятий по закаливанию организма.
10. Физическое самовоспитание и самосовершенствование как необходимое условие реализации мероприятий ЗОЖ.
11. Врачебный контроль как обязательная процедура для занимающихся физической культурой.
12. Самоконтроль — необходимая форма контроля человека за физическим состоянием.
13. Методика самоконтроля физического развития.
14. Самостоятельное измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений.
15. Проведение функциональных проб для оценки деятельности сердечно-сосудистой системы.
16. Проведение функциональных проб для оценки деятельности дыхательной системы.
17. Самоконтроль уровня развития физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости, силы и выносливости
18. Ведение дневника самоконтроля.
19. Цель и задачи физического воспитания в вузе.
20. Специфические функции физической культуры.
21. Социальная роль и значение спорта.
22. Этапы становления физической культуры личности студента.
23. Понятия физическая культура, физическое воспитание, физическое развитие, физическое совершенство.

24. Реабилитационная физическая культура, виды, краткая характеристика.
25. Разделы учебной программы дисциплины «Физическая культура».
26. Комплектование учебных отделений студентов для организации и проведения занятий по физическому воспитанию.
27. Преимущества спортивно-ориентированной программы дисциплины «Физическая культура» для студентов.
28. Особенности комплектования студентов с различным характером заболеваний в специальном учебном отделении.
29. Зачетные требования по учебной дисциплине «Физическая культура».
30. Формирование двигательного навыка.
31. Устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов.
32. Мотивация и направленность самостоятельных занятий.
33. Утренняя гигиеническая гимнастика.
34. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
35. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
36. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
37. Особенности самостоятельных занятий женщин.
38. Мотивация и направленность самостоятельных занятий. Утренняя гигиеническая гимнастика.
39. Физические упражнения в течение учебного дня: физкультминутки, физкультпаузы.
40. Самостоятельные тренировочные занятия: структура, требования к организации и проведению.
41. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
42. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
43. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
44. Особенности самостоятельных занятий женщин.
45. Роль физической культуры в профессиональной деятельности бакалавра и специалиста.
46. Производственная физическая культура, ее цели и задачи.
47. Методические основы производственной физической культуры.
48. Производственная физическая культура в рабочее время.
49. Физическая культура и спорт в свободное время.
50. Профилактика профессиональных заболеваний и травматизма средствами физической культуры.
51. Понятие ППФП, её цель, задачи. Прикладные знания, умения и навыки.
52. Прикладные психические качества.
53. Прикладные специальные качества.
54. Факторы, определяющие содержание ППФП: формы труда, условия труда.
55. Факторы, определяющие содержание ППФП: характер труда, режим труда и отдыха.
56. Дополнительные факторы, определяющие содержание ППФП.
57. Средства ППФП.
58. Организация и формы ППФП в вузе.
59. Понятия общей и специальной физической подготовки.
60. Отличия понятий спортивная подготовка и спортивная тренировка.
61. Стороны подготовки спортсмена.
62. Средства спортивной подготовки.
63. Структура отдельного тренировочного занятия.
64. Роль подготовительной части занятия в тренировочном процессе.
65. Понятие «физическая нагрузка», эффект ее воздействия на организм.
66. Внешние признаки утомления.
67. Виды и параметры физических нагрузок.
68. Интенсивность физических нагрузок.
69. Психофизиологическая характеристика умственной деятельности.
70. Работоспособность: понятие, факторы, периоды
71. Физические упражнения в течение учебного дня для поддержания работоспособности.
72. Бег как самое эффективное средство восстановления и повышения работоспособности.
73. Плавание и работоспособность.
74. Методические принципы физического воспитания, сущность и значение.
75. Принципы сознательности и активности, наглядности в процессе физического воспитания.
76. Принципы доступности и индивидуализации, систематичности и динамичности.
77. Средства физической культуры.
78. Общепедагогические методы физического воспитания.
79. Методы обучения технике двигательного действия.
80. Этапы обучения двигательного действия.
81. Методы развития физических качеств: равномерный, повторный, интервальный.
82. Метод круговой тренировки, игровой и соревновательный методы.
83. Сила как физическое качество, общая характеристика силовых упражнений.
84. Методы развития силы.
85. Выносливость — виды выносливости, особенности развития выносливости.

86. Развитие физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости.
87. Понятие «спорт». Его принципиальное отличие от других видов занятий физическими упражнениями.
88. Массовый спорт: понятие, цель, задачи.
89. Спорт высших достижений: понятие, цель, задачи.
90. Студенческий спорт, его организационные особенности.
91. Студенческие спортивные соревнования.
92. Студенческие спортивные организации.
93. Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс «ГТО» (Готов к труду и обороне).

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенного теста необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данного теста. Тесты, тесты являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Шулиманов Д.Ф.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 14 от 03.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

Горно-технологического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Барановский В.П
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.
подпись

СОДЕРЖАНИЕ

1. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к практическим занятиям физической культурой и спортом ……..3
1.1. Планирование, формы и организация самостоятельных занятий ……...3
1.1.1. Утренняя физическая гимнастика……3
1.1.2. Упражнения в течение учебного дня……4
1.1.3. Самостоятельные тренировочные занятия……..4
1.1.4. Методика самостоятельных тренировочных занятий……5
1.1.5. Особенности самостоятельных занятий для женщин……6
1.2 Самоконтроль занимающихся за состоянием своего организма……..7
1.2.1 Оценка физического развития……...9
1.2.2. Оценка функционального состояния (подготовленности)..……10
2. Другие виды самостоятельной работы
2.1 Самостоятельная подготовка к сдаче обязательных тестов оценки общей физической подготовленности……12
2.1.1 Тест на скоростно-силовую подготовленность (бег на 100 м)……12
2.1.2 Техника выполнения упражнения……...12
2.1.3 Методы самостоятельной тренировки…….....13
2.1.4. Средства тренировки быстроты……..13
2.1.5. Подготовка и сдача контрольного норматива……...14
2.2. Тест на силовую подготовленность для женщин ……...15
2.2.1. Техника выполнения упражнения……..15
2.3. Тест на силовую подготовленность для мужчин……...15
2.3.1. Техника выполнения упражнения……..15
2.3.2. Методы развития силы……16
2.4. Тест на общую выносливость (бег 2000 и 3000 м)……..17
2.4.1. Техника бега на длинные дистанции……..17
2.4.3. Возможные ошибки и осложнения в ходе проведения Самостоятельных тренировок……..18
3.Актуальность задачи повышения уровня готовности обучающихся к зачетным занятиям, на основе управляемой адаптации к смене видов учебно-познавательной деятельности……..…….…....21

1. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к практическим занятиям физической культурой и спортом

1.1. Планирование, формы и организация самостоятельных занятий

Планирование самостоятельных занятий осуществляется студентами при консультации преподавателей и должно быть направлено на достижение единой цели – сохранение хорошего здоровья, поддержание высокого уровня физической и умственной работоспособности, достижение поставленной задачи.

Существуют три формы самостоятельных занятий:

1. Утренняя физическая гимнастика (УФГ).

2. Упражнения в течение учебного (рабочего) дня.

3. Самостоятельные тренировочные занятия.

1.1.1. Утренняя физическая гимнастика

Выполняется ежедневно. В комплекс УФГ следует включать упражнения для всех групп мышц, упражнения на гибкость и дыхание, бег, бег (прыжковые упражнения).

Не рекомендуется выполнять:

- упражнения статического характера;

- со значительными отягощениями;

- упражнения на выносливость.

При выполнении УФГ рекомендуется придерживаться определенной последовательности выполнения упражнений:

- медленный бег, ходьба (2-3 мин.);

- потягивающие упражнения в сочетании с глубоким дыханием;

- упражнение на гибкость и подвижность для мышц рук, шеи, туловища и ног;

- силовые упражнения без отягощений или с небольшими отягощениями для рук, туловища, ног (сгибание-разгибание рук в упоре лежа, упражнения с легкими гантелями, с эспандерами);

- различные наклоны в положении стоя, сидя, лежа, приседания на од-ной и двух ногах и др.;

- легкие прыжки или подскоки (например, со скалкой) – 20-30 с.;

- упражнения на расслабление с глубоким дыханием.

При составлении комплексов УФГ рекомендуется физиологическую нагрузку на организм повышать постепенно, с максимумом во второй половине комплекса. К концу выполнения комплекса нагрузка снижается и организм приводится в спокойное состояние.

Между сериями из 2-3 упражнений (а при силовых – после каждого) выполняется упражнение на расслабление или медленный бег (20-30с.).

УФГ должна сочетаться с самомассажем и закаливанием организма. Сразу же после выполнения комплекса УФГ рекомендуется сделать самомассаж основных мышечных групп ног, туловища, рук (5-7 мин.) и выполнить водные процедуры с учетом правил и принципов закаливания.

1.1.2. Упражнения в течение учебного дня

Выполняются в перерывах между учебными и самостоятельными занятиями.

Они обеспечивают предупреждение наступающего утомления, способствуют поддержанию высокой работоспособности на длительное время без перенапряжения.

При выполнении этих упражнений следует придерживаться следующих правил:

1. Проводить в хорошо проветренных помещениях или на открытом воздухе.

2. Растягивать и расслаблять мышцы, испытывающие статическую нагрузку.

3. Нагружать неработающие мышцы.

1.1.3. Самостоятельные тренировочные занятия

Можно проводить индивидуально или в группе из 3-5 человек и более. Групповая тренировка более эффективна, чем индивидуальная. Заниматься рекомендуется 3-4 раза в неделю по 1,5 -2 часа. Заниматься менее двух раз в неделю нецелесообразно, т.к. это не способствует повышению уровня тренированности организма. Тренировочные занятия должны носить комплексный характер, т.е. способствовать развитию всего комплекса физических качеств, а также укреплению здоровья и повышению общей работоспособности организма.

Каждое самостоятельное тренировочное занятие состоит из трех частей:

1. Подготовительная часть (разминка) (15-20 мин. для одночасового занятия): ходьба (2-3 мин.), медленный бег (8-10 мин.), общеразвивающие упражнения на все группы мышц, соблюдая последовательность «сверху вниз», затем выполняются специально-подготовительные упражнения, выбор которых зависит от содержания основной части.

2. В основной части (30-40 мин.) изучаются спортивная техника и тактика, осуществляется тренировка развития физических, волевых качеств. При выполнении упражнений в основной части занятия необходимо придерживаться следующей последовательности:

После разминки выполняются упражнения, направленные на изучение и совершенствование техники, и упражнения на быстроту, затем упражнения для развития силы и в конце основной части занятия – для развития выносливости.

3. В заключительной части (5-10 мин.) выполняются медленный бег (3-8 мин.), переходящий в ходьбу (2-6 мин.), упражнения на расслабление в сочетании с глубоким

дыханием, которые обеспечивают постепенное снижение тренировочной нагрузки и приведение организма в сравнительно спокойное состояние.

1.1.4. Методика самостоятельных тренировочных занятий

Методические принципы, которыми необходимо руководствоваться при проведении самостоятельных тренировочных занятий, следующие:

- принцип сознательности и активности предполагает углубленное изучение занимающимися теории и методики спортивной тренировки, осознанное отношение к тренировочному процессу, понимание целей и задач занятий, рациональное применение средств и методов тренировки в каждом занятии, учет объема и интенсивности выполняемых упражнений и физических нагрузок, умение анализировать и оценивать итоги тренировочных занятий;

- принцип систематичности требует непрерывности тренировочного процесса, рационального чередования физических нагрузок и отдыха, преемственности и последовательности тренировочных нагрузок от занятия к занятию. Эпизодические занятия или занятия с большими перерывами (более 4-5 дней) неэффективны и приводят к снижению достигнутого уровня тренированности;

- принцип доступности и индивидуализации обязывает планировать и включать в каждое тренировочное занятие физические упражнения, по своей сложности и интенсивности доступные для выполнения занимающимися. При определении содержания тренировочных занятий необходимо соблюдать правила: от простого – к сложному, от легкого – к трудному, от известного – к неизвестному, а также осуществлять учет индивидуальных особенностей занимающихся: пол, возраст, физическую подготовленность, уровень здоровья, волевые качества, трудолюбие, тип высшей нервной деятельности и т.п. Подбор упражнений, объем и интенсивность тренировочных нагрузок нужно осуществлять в соответствии с силами и возможностями организма занимающихся;

- принцип динамичности и постепенности определяет необходимость повышения требований к занимающимся, применение новых, более сложных физических упражнений, увеличение тренировочных нагрузок по объему и интенсивности. Переход к более высоким тренировочным нагрузкам должен проходить постепенно с учетом функциональных возможностей и индивидуальных особенностей занимающихся.

Если в тренировочных занятиях был перерыв по причине болезни, то начинать занятия следует после разрешения врача при строгом соблюдении принципа постепенности. Вначале тренировочные нагрузки значительно снижаются и постепенно доводятся до занимающегося в тренировочном плане уровня.

Все выше перечисленные принципы находятся в тесной взаимосвязи. Это различные стороны единого, целостного повышения функциональных возможностей занимающихся.

1.1.5. Особенности самостоятельных занятий для женщин

Организм женщины имеет анатомо-физиологические особенности, которые необходимо учитывать при проведении самостоятельных занятий физическими упражнениями или спортивной тренировки. В отличие от мужского, у женского организма менее прочное строение костей, ниже общее развитие мускулатуры тела, более широкий тазовый пояс и мощнее мускулатура тазового дна. Для здоровья женщины большое значение имеет развитие мышц брюшного пресса, спины и тазового дна. От их развития зависит нормальное положение внутренних органов. Особенно важно развитие мышц тазового дна.

Одной из причин недостаточного развития этих мышц у студенток и работниц умственного труда является малоподвижный образ жизни. При положении сидя мышцы тазового дна не противодействуют внутрибрюшному давлению и растягиваются от тяжести лежащих над ними органов. В связи с этим мышцы теряют свою эластичность и прочность, что может привести к нежелательным изменениям положения внутренних органов и к ухудшению их функциональной деятельности.

Ряд характерных для организма женщины особенностей имеется и в деятельности сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной и других систем. Все это выражается более продолжительным периодом восстановления организма после физической нагрузки, а также более быстрой потерей состояния тренированности при прекращении тренировок.

Особенности женского организма должны строго учитываться в организации, содержании, методике проведения самостоятельных занятий. Подбор физических упражнений, их характер и интенсивность должны соответствовать физической подготовленности, возрасту, индивидуальным возможностям студенток. Необходимо исключать случаи форсирования тренировок для того, чтобы быстро достичь высоких результатов. Разминку следует проводить более тщательно и более продолжительно, чем при занятиях мужчин. Рекомендуется остерегаться резких сотрясений, мгновенных напряжений и усилий, например, при занятиях прыжками и в упражнениях с отягощением. Полезны упражнения, в положении сидя, и лежа на спине с подниманием, отведением, приведением и круговыми движениями ног, с подниманием ног и таза до положения «березка», различного рода приседания.

Даже для хорошо физически подготовленных студенток рекомендуется исключить упражнения, вызывающие повышение внутрибрюшного давления и затрудняющие деятельность органов брюшной полости и малого таза. К таким упражнениям относятся прыжки в глубину,

поднимание больших тяжестей и другие, сопровождающиеся задержкой дыхания и натуживанием.

При выполнении упражнений на силу и быстроту движений следует более постепенно увеличивать тренировочную нагрузку, более плавно доводить ее до оптимальных пределов, чем при занятиях мужчин.

Упражнения с отягощениями применяются с небольшими весами, сериями по 8-12 движений с вовлечением в работу различных мышечных групп. В интервалах между сериями выполняются упражнения на расслабление с глубоким дыханием и другие упражнения, обеспечивающие активный отдых.

Функциональные возможности аппарата кровообращения и дыхания у девушек и женщин значительно ниже, чем у юношей и мужчин, поэтому нагрузка на выносливость для девушек и женщин должна быть меньше по объему и повышаться на более продолжительном отрезке времени.

Женщинам при занятиях физическими упражнениями и спортом следует особенно внимательно осуществлять самоконтроль. Необходимо наблюдать за влиянием занятий на течение овариально-менструального цикла и характер его изменения. Во всех случаях неблагоприятных отклонений необходимо обращаться к врачу.

Женщинам противопоказаны физические нагрузки, спортивная тренировка и участие в спортивных соревнованиях в период беременности. После родов к занятиям физическими упражнениями и спортом рекомендуется приступать не ранее чем через 8-10 месяцев.

1.2. Самоконтроль занимающихся за состоянием своего организма

Данные самоконтроля записываются в дневник, они помогают контролировать и регулировать правильность подбора средств, методику проведения учебно-тренировочных занятий. У отдельных занимающихся количество показателей самоконтроля в дневнике и порядок записи могут быть различными, но одинаково важно для всех правильно оценивать отдельные показатели, лаконично фиксировать их в дневнике.

В дневнике самоконтроля рекомендуется регулярно регистрировать:

- субъективные данные (самочувствие, сон, аппетит, болевые ощущения);

- объективные данные (частота сердечных сокращений (ЧСС), масса тела, тренировочные нагрузки, нарушения режима, спортивные результаты).

Субъективные данные:

Самочувствие - отмечается как хорошее, удовлетворительное или плохое. При плохом самочувствии фиксируется характер необычных ощущений.

Сон - отмечается продолжительность и глубина сна, его нарушения (трудное засыпание, беспокойный сон, бессонница, недосыпание и др.).

Аппетит - Отмечается как хороший, удовлетворительный, пониженный и плохой. Различные отклонения состояния здоровья быстро отражаются, поэтому его ухудшение, как правило, является результатом переутомления или заболевания.

Болевые ощущения - фиксируются по месту их локализации, характеру (острые, тупые, режущие и т.п.) и силе проявления.

Объективные данные:

ЧСС – важный показатель состояния организма. Его рекомендуется подсчитывать регулярно, в одно и то же время суток, в покое. Лучше всего утром, лежа, после пробуждения, а также до тренировки (за 3-5 мин) и сразу после спортивной тренировки.

Нормальными считаются следующие показатели ЧСС в покое:

- мужчины (тренированные/не тренированные) 50-60/70-80;

- женщины (тренированные/не тренированные) 60-70/75-85.

С увеличением тренированности ЧСС понижается.

Интенсивность физической нагрузки также определяться по ЧСС, которая измеряется сразу после выполнения упражнений.

При занятиях физическими упражнениями рекомендуется придерживаться следующей градации интенсивности:

- малая интенсивность – ЧСС до 130 уд/мин. При этой интенсивности эффективного воспитания выносливости не происходит, однако создаются предпосылки для этого, расширяется сеть кровеносных сосудов в скелетных мышцах и в сердечной мышце (целесообразно применять при выполнении разминки);

- средняя интенсивность от 130 до 150 уд/мин.;

- большая интенсивность – ЧСС от 150 до 180 уд/мин. В этой тренировочной зоне интенсивности к аэробным механизмам подключаются анаэробные механизмы энергообеспечения, когда энергия образуется при распаде энергетических веществ в условиях недостатка кислорода;

- предельная интенсивность – ЧСС 180 уд/мин. и больше. В этой зоне интенсивности совершенствуются анаэробные механизмы энергообеспечения.

Существенным моментом при использовании ЧСС для дозирования нагрузки является ее зависимость от возраста.

Известно, что по мере старения уменьшается возможность усиления сердечной деятельности за счет учащения сокращения сердца во время мышечной работы. Оптимальную ЧСС с учетом возраста при продолжительных упражнениях можно определить по формулам:

- для начинающих: ЧСС (оптимальная) = 170 – возраст (в годах)

- для занимающихся регулярно в течении 1-2 лет:

- ЧСС (оптимальная) = 180 – возраст (в годах)

Зависимость максимальной величины ЧСС от возраста при тренировке на выносливость можно определить по формуле:

- ЧСС (максимальная) = 220 – возраст (в годах)

Например, для занимающихся в возрасте 18 лет максимальная ЧСС будет равна 220-18=202 уд/мин.

Важным показателем приспособленности организма к нагрузкам является скорость восстановления ЧСС сразу после окончания нагрузки. Для этого определяется ЧСС в первые 10 секунд после окончания нагрузки, пересчитывается на 1 мин. и принимается за 100%. Хорошей реакцией восстановления считается:

- снижение через 1 мин. на 20%;

- через 3 мин. – на 30%;

- через 5 мин. – на 50%,

- через 10 мин. – на 70 – 75%. (отдых в виде медленной ходьбы).

Масса тела должна определяться периодически (1-2 раза в месяц) утром натощак, на одних и тех же весах. В первом периоде тренировки масса обычно снижается, а затем стабилизируется и в дальнейшем за счет прироста мышечной массы несколько увеличивается. При резком снижении массы тела следует обратиться к врачу.

Тренировочные нагрузки в дневник самоконтроля записываются коротко, вместе с другими показателями самоконтроля они дают возможность объяснить различные отклонения в состоянии организма.

Спортивные результаты показывают, правильно ли применяются средства и методы тренировочных занятий. Их анализ может выявить дополнительные резервы для роста физической подготовленности и спортивного мастерства.

В процессе занятий физическими упражнениями рекомендуется периодически оценивать уровень своего физического развития и физической (функциональной) подготовленности.

1.2.1. Оценка физического развития

Проводится с помощью антропометрических измерений: рост стоя и сидя, масса тела, окружность грудной клетки, жизненная емкость легких (ЖЁЛ) и сила кисти сильнейшей руки, которые дают возможность определить:

- уровень и особенности физического развития;

- степень его соответствия полу и возрасту;

- имеющиеся отклонения;

- улучшение физического развития под воздействием занятий физическими упражнениями.

Применяются следующие антропометрические индексы:

- Весо-ростовой показатель

- ВРП= масса тела (грамм.)/длина тела (см.)

Хорошая оценка:

- для женщин 360-405 г/см.;

- для мужчин 380-415 г/см.

Индекс Брока

Оптимальная масса тела для людей ростом от 155 до 165 см. равна длине тела в сантиметрах минус 100. При росте 165-175 см. вычитают 105, при росте более 175 см. – 110.

Силовой показатель (СП)

Показывает соотношение между массой тела и мышечной силой. Обычно, чем больше мышечная масса, тем больше сила. Силовой показатель определяется по формуле и выражается в процентах:

$$\frac{\text{сила (кг)}}{\text{общая масса тела (кг)}} \times 100$$

Для сильнейшей руки:

- для мужчин - 65-80%

- для женщин - 48-50%.

1.2.2. Оценка функционального состояния (подготовленности)

Определение резервных возможностей организма

Осуществляется с помощью физиологических проб сердечно-сосудистой (ССС) и дыхательной (ДС) систем.

Общее требования:

1. Проводить в одно и то же время суток.

2. Не ранее чем через 2 часа после приема пищи.

3. При температуре 18-20 градусов, влажности менее 60%.

Функциональная проба с приседанием

Проверяемый отдыхает стоя 3 мин., на 4-й мин. подсчитывается ЧСС за 15 с. с пересчетом на 1 мин. (исходная частота). Далее выполняется 20 приседаний за 40 с., поднимая руки вперед. Сразу после приседаний подсчитывается ЧСС в течение первых 15 с. с пересчетом на 1 мин. Определяется увеличение ЧСС после приседаний сравнительно с исходной в процентах.

Оценка:

- отлично – до 20%;

- хорошо – 20-40%;

- удовлетворительно – 40-65%;

- плохо – 66-75%;

- более 75%.

Ортостатическая проба

Применяется для оценки сосудистого тонуса.

Отдых 5 минут в положении лежа, подсчитывают ЧСС в положении лежа за 1 мин. (исходная ЧСС), после чего занимающийся встает, и снова подсчитывает пульс за 1 мин.

Оценка:

- «хорошо» - не более 11 ударов (чем меньше разница, тем лучше);

- «удовлетворительно» - от 12 до 18 ударов (потливость);

- «неудовлетворительно» - более 19 ударов (потливость, шум в ушах).

Проба Штанге (задержка дыхания на вдохе),

проба Генча (задержка дыхания на вдохе)

Оценивается устойчивость организма к недостатку кислорода, а также общий уровень тренированности.

После 5 мин. отдыха сидя, сделать 2-3 глубоких вдоха и выдоха, затем сделать полный вдох (выдох) и задержать дыхание. Отмечается время от момента задержания дыхания до ее прекращения.

Оценка	Юноши	Девушки
Отлично	90 сек	80 сек
Хорошо	80-89 сек	70-79 сек
Удовлетворительно	50-79 сек	40-69 сек
Неудовлетворительно	50 и ниже	40 и ниже

Проба Генча

Оценка	Юноши	Девушки
Отлично	45 сек	35 сек
Хорошо	40-44 сек	30-34 сек
Удовлетворительно	30-39 сек	20-29 сек
Неудовлетворительно	30 и ниже	20 и ниже

С нарастанием тренированности время задержания дыхания возрастает, при снижении или отсутствии тренированности – снижается.

Самоконтроль прививает занимающимся грамотное и осмысленное отношение к своему здоровью и к знаниям физической культурой и спортом, имеет большое воспитательное значение.

2. Другие виды самостоятельной работы

2.1. Самостоятельная подготовка к сдаче обязательных тестов оценки общей физической подготовленности

2.1.1 Тест на скоростно-силовую подготовленность (бег на 100 метров)

Нормативы:

- у студенток нормативы в беге на 100 метров следующие: 15.7 сек - 5 очков; 16,0 - 4; 17,0 -3; 17,9 - 2; 18,7 - 1.

- студенты должны показать результаты в следующих пределах: 13,2 сек - 5 очков; 13,8 - 4; 14,0 - 3; 14,3 - 2; 14,6 - 1.

2.1.2. Техника выполнения упражнения

При анализе бега на 100 м. принято выделять следующие основные фазы:

- старт и стартовый разгон;

- бег по дистанции;

- финиширование.

Старт и стартовый разгон

Существует два вида старта: низкий и высокий. Экспериментальные данные показывают, что новичкам и спортсменам 2-го разряда лучше применять высокий старт. Такая закономерность наблюдается до результата 11,4-11,6 с. и объясняется технической сложностью низкого старта. Поэтому следует ограничиться только овладением техникой высокого старта.

По команде «На старт» занимающийся подходит к стартовой линии, ставит сильнейшую (толчковую ногу) вплотную к линии, маховая нога располагается на 1,5-2 стопы назад на носок, расстояние между ними 15-20 см. Туловище выпрямлено, руки опущены, вес тела распределяется равномерно на обе ноги.

По команде «Внимание» вес тела переносится на впереди согнутую стоящую ногу, разноименная рука вперед. Проекция плеч находится за стартовой линией на расстоянии 5-8 см. Взгляд направлен вперед - вниз.

По команде «Марш» бегун мощно разгибает толчковую ногу и стремится максимально быстро вынести маховую ногу вперед с постановкой ее сверху вниз на дорожку. Руки работают максимально активно, плечевой пояс не закрепощен, кисти расслаблены. Стартовый разгон характеризуется постепенным увеличением длины шагов, уменьшением наклона туловища и приближением стоп к средней линии.

Бег по дистанции

Перед бегущим стоит задача удержать развитую горизонтальную скорость до финиша. Этому будет способствовать сохранение длины и частоты шагов.

Во время бега маховая нога ставится с носка спереди проекции общего центра тяжести тела (ОЦТТ) сверху вниз. Взаимодействие маховой ноги с грунтом называется передним толчком. Задний толчок выполняется мощным разгибанием бедра и сгибанием стопы. Голова держится прямо. Руки согнуты (угол сгибания в локтевых суставах примерно 90 град.).

При движении руки вперед кисть поднимается до уровня плеч. Назад рука отводится до «отказа» и угол сгибания в локтевом суставе увеличивается. Пальцы рук слегка согнуты.

Финиширование

Наклон туловища увеличивается. На последних метрах дистанции необходимо стремиться не потерять свободы движений и пробегать финиш без снижения скорости.

2.1.3. Методы самостоятельной тренировки

- Повторный метод - повторное выполнение упражнений с около-предельной и предельной скоростью. Отдых продолжается до восстановления. Упражнения повторяются до тех пор, пока скорость не начнет снижаться.

- Переменный метод - когда пробегаются дистанции, например, с варьированием скорости и ускорения. Цель - исключить стабилизацию скорости («скоростной барьер»).

- Соревновательный метод - предполагает выполнение упражнений на быстроту в условиях соревнований. Эмоциональный подъем на соревнованиях способствует мобилизации на максимальные проявления быстроты, позволяет выйти на новый рубеж скорости.

2.1.4. Средства тренировки быстроты

Частоту движений, а вместе с ней и быстроту циклических движений развивают с помощью упражнений, которые можно выполнять с максимальной скоростью, а также с помощью скоростно-силовых упражнений для ациклических движений. При этом упражнения должны отвечать следующим требованиям:

- техника упражнений должна обеспечивать выполнение движений на предельных скоростях;

- упражнения должны быть хорошо освоены, чтобы не требовалось волевого усилия для их выполнения;

- продолжительность упражнений должна быть такой, чтобы скорость не снижалась вследствие утомления - 20-22 с.

Основным средством отработки бега по дистанции является бег с максимальной скоростью. Такой бег выполняется 5-6 раз по 30-40 метров. В тренировке можно чередовать бег в обычных, облегченных (с горки, угол 4-5 град.) и затрудненных (в горку или с сопротивлением) условиях.

Для развития скоростной выносливости рекомендуется пробегать большую дистанцию (120-150 м), когда очередная пробежка начинается при пульсе 120 уд/мин.

Для тренировки в беге на 100 метров следует использовать кроссы (6 км, 30 мин), повторный бег на отрезках 200 м в 3/4 силы. Спортивные игры (баскетбол, футбол) также приносят пользу в развитии быстроты.

Можно рекомендовать и упрощенную методику, обеспечивающую минимально необходимый уровень подготовленности:

- повторный метод - в одном занятии 3-4 пробегания по 20-30 метров с максимальной скоростью и интервалами отдыха для восстановления пульса до 110-120 уд/мин;

- переменный метод - пробегание 2-х отрезков по 30 метров с максимальной скоростью и последующим переходом на спокойный бег 150--200 метров. Выполняется 3-4 подхода.

Для ощутимого сдвига в подготовленности такие тренировки рекомендуется проводить 3-4 раза в неделю.

2.1.5. Подготовка и сдача контрольного норматива

При подготовке к сдаче бега на 100 метров следует учитывать общие требования по питанию при занятиях физическими упражнениями:

1. По времени - прием пищи не менее чем за 2-3 часа.

2. По составу - не есть тяжелой пищи (мясо, яйца, масло, молочные продукты, жирную, долго перевариваемую пищу).

Не рекомендуется выходить на старт с переполненным желудком.

Непосредственно перед сдачей норматива необходимо провести разминку с использованием специальных упражнений:

1. Бег с высоким подниманием бедра.

2. Бег с «захлестыванием» голеней назад.

3. Семенящий бег.

4. Прыжки с ноги на ногу (шаги).

5. Бег в упоре стоя у гимнастической стенки.

6. Бег с ускорением с высокого старта с подачей стартовых команд (2-3 ускорения по 10-15 метров).

Разминка заканчивается за 10 минут до старта.

Непосредственно перед стартом нельзя отдыхать лежа, сидя, необходимо постоянно находиться в движении (прохаживаться, выполнять упражнения на растяжку). Частота сердечных сокращений непосредственно перед стартом должна быть 110 – 120 уд/мин.

Психологическая подготовка заключается в мысленном «прокручивании» в голове этапов преодоления дистанции: старта, стартового разбега, бега по дистанции, финиширования с концентрацией внимания на технике выполнения каждого этапа.

При выполнении теста не разрешается:

- наступать на линию старта (стартовая линия входит в дистанцию);

- перебегать на соседние дорожки.

2.2. Тест на силовую подготовленность для женщин

(поднимание (сед) и опускание туловища из положения лежа, ноги закреплены, руки за головой)

Нормативы: 60 раз - 5 очков, 50 - 4, 40 - 3, 30 - 2, 20 - 1.

Это упражнение используется для оценки развития мышц живота (брюшного пресса).

О мышцах брюшного пресса следует сказать особо. Эта группа мышц участвует в большинстве движений. Она создает хороший «мышечный корсет», охватывающий брюшную полость и способствующий нормальному функционированию внутренних органов, что положительно влияет на состояние здоровья.

2.2.1. Техника выполнения упражнения

И.п. (исходное положение) – лежа на спине, ноги согнуты в коленях, стопы прижаты к полу, руки в замок за головой, локти разведены.

Это силовое упражнение состоит из 4-х фаз:

- поднимание туловища;

- фиксация его в вертикальном положении;

- опускание;

- пауза в горизонтальном положении.

Голова держится прямо, локти в стороны, дыхание ритмично.

2.3. Тест на силовую подготовленность для мужчин (подтягивание на перекладине)

Учебной программой по физической культуре предусмотрено тестирование студентов для определения уровня их силового развития. Нормативы следующие: 15 раз - 5 очков, 12 - 4, 9 - 3, 7 - 2, 5 - 1;

2.3.1. Техника выполнения упражнения

Каждый цикл подтягивания в висе на перекладине включает:

- исходное положение - вис на вытянутых руках хватом сверху (большими пальцами внутрь);

- подъем до пересечения подбородком линии перекладины;

- опускание в исходное положение.

При выполнении теста разрешается сгибание, разведение ног, запрещаются рывковые движения туловищем и руками, хлестовые движения ногами. Выполнение засчитывается только при полном выпрямлении рук в локтевых суставах.

Наиболее экономично подтягивание при хвате рук на ширине плеч. Если кисти рук расположены ближе друг к другу, то положение тела становится менее устойчивым и отклонения

придется компенсировать за счет дополнительных мышечных усилий, что будет увеличивать энерготраты и снижать результат. Возрастают энерготраты и при широком хвате (шире плеч). Это связано с тем, что для фиксации лопаток при широком хвате требуется большая, чем при хвате на ширине плеч, сила мышц, приближающих лопатки к позвоночному столбу.

Опускание в вис (в исходное положение) после подтягивания должно выполняться спокойно. Дыхание не задерживается.

2.3.2. Методы развития силы

На практике распространены следующие методы силовой подготовки:

- метод максимальных усилий;

- метод повторных усилий;

- метод динамических усилий.

Согласно методу максимальных усилий выполнение упражнений организуется таким образом, чтобы занимающийся смог подтянуться 1-3 раза в одном подходе (при условии, что он способен самостоятельно подтянуться как минимум 2-3 раза). Такое достигается за счет применения дополнительного внешнего отягощения. Делается 5-6 подходов с перерывами 2-4 минуты.

По методу повторных усилий подтягивания в одном подходе выполняются до «отказа». Если занимающийся имеет максимальный индивидуальный показатель 10-15 подтягиваний и более, то следует применять отягощение весом 30-70% от максимального. Например, занимающийся может подтянуться 1 раз с максимальным отягощением 10 кг. Значит, для тренировки по методу повторных усилий следует подобрать вес отягощения 3-7 кг. Выполняется 3-6 подходов с отдыхом между ними 2-4 мин.

Разнообразить упражнения можно, применяя метод динамических усилий. Если занимающийся легко выполняет 10-15 подтягиваний, то следует применять отягощения до 30% от максимального. В одном подходе 10-15 повторений. Темп - максимально быстрый. Всего 3-6 подходов. Во время отдыха следует добиваться наиболее полного восстановления, чтобы в следующем подходе выполнить упражнение без существенной потери скорости.

Сравнивая динамический и статический методы развития силы, необходимо отметить следующее:

- При динамическом режиме работы мышц происходит достаточное кровоснабжение. Мышца функционирует как насос - при расслаблении наполняется кровью и получает кислород и питательные вещества.

- Во время статического усилия мышца постоянно напряжена и непрерывно давит на кровеносные сосуды. В результате она не получает кислород и питательные вещества. Это ограничивает продолжительность работы мышц.

2.4. Тест на общую выносливость - бег 2000 и 3000 метров

Нормативы:

- студентки - бег 2000 метров - 10 мин.15 сек. - 5 очков; 10.50 - 4; 11.15 - 3; 11.50 - 2; 12.15 - 1;

- студенты - бег 3000 метров - 12.00 - 5; 12.35 - 4; 13.10 - 3; 13.50 - 2; 14.00 - 1.

2.4.1. Техника бега на длинные дистанции

Бег на средние и длинные дистанции начинается с высокого старта. По команде «На старт!» бегун ставит у линии более сильную ногу, а другую отставляет назад на носок (на 30 – 50 см), немного сгибает ноги, туловище наклоняет вперед и тяжесть тела переносит на впереди стоящую ногу. По команде «Марш!» бегун начинает бег, делая первые шаги в большом наклоне, который постепенно уменьшается. Длина шагов увеличивается, бег ускоряется, бегун набирает скорость и в короткое время переходит к свободному бегу на дистанции. Бег на дистанции. Во время бега на дистанции туловище вертикально или слегка наклонено вперед (5-7°). Небольшой наклон туловища вперед позволяет лучше использовать силы отталкивания и быстрее продвигаться вперед. Слишком большой наклон приводит к «падающему» бегу, при котором труднее выносить вперед согнутую ногу, в связи с чем уменьшается длина шага, а следовательно, и скорость бега. Кроме того, при большом наклоне постоянно напряжены мышцы, удерживающие туловище от увеличивающегося наклона. Отсутствие наклона ухудшает условия отталкивания, однако улучшает возможность выноса вперед согнутой в коленном суставе свободной ноги. При правильном положении туловища создаются благоприятные условия для работы мышц и внутренних органов. Наклон туловища у бегунов изменяется в пределах 2-3°: увеличивается к моменту отталкивания и уменьшается в полетной фазе. Положение головы существенно влияет на положение туловища. Надо держать голову прямо и смотреть вперед. В фазе отталкивания таз подается вперед, что является важной особенностью техники бега на длинные дистанции и позволяет полнее использовать силу реакции опоры. В технике бега на длинные дистанции важнее всего движения ног. Нога, немного согнутая, ставится на грунт упруго и эластично с передней части стопы, а затем касается его всей стопой. Постановка ноги на переднюю часть стопы позволяет эффективнее использовать эластические свойства мышц голени, активно участвующие в отталкивании. Следы стоп на дорожке у бегунов находятся на одной линии, носки почти не разворачиваются в стороны. Эффективное отталкивание характеризуется выпрямлением ноги во всех суставах. Угол отталкивания в беге на средние дистанции примерно равен 50-55°. При правильном отталкивании таз подан вперед, голень маховой согнутой ноги параллельна бедру толчковой ноги. Быстрый вынос маховой ноги вперед облегчает отталкивание. Бегуны на длинные дистанции меньше поднимают бедро маховой ноги вверх, чем бегуны на средние и короткие дистанции. Длина шага на длинные дистанции не

постоянна даже у одних и тех же бегунов. Колебания зависят от наступившего утомления, неравномерности пробегания отдельных участков дистанции, качества беговой дорожки, ветра и состояния бегуна. Обычно шаг с сильнейшей ноги на несколько сантиметров больше, чем шаг со слабейшей ноги. Длина шага равна 160 – 215 см. Повышение скорости бега за счет увеличения длины шага ограничено, так как слишком длинный шаг требует очень больших затрат сил. Кроме того, длина шага в основном зависит от индивидуальных данных бегуна. Поэтому скорость бега повышают за счет увеличения частоты шагов, которая зависит от тренированности бегуна. Движения плечевого пояса и рук связаны с движениями ног. Выполнять их надо легко, не напряженно. Это во многом зависит от умения расслаблять мышцы плечевого пояса. Движения рук помогают бегуну сохранять равновесие тела во время бега. Амплитуда движения рук зависит от скорости бега. Кисти при движении вперед не пересекают средней линии тела и поднимаются примерно до уровня ключицы. При движении рук назад кисти доходят до задней линии туловища (если смотреть на бегуна сбоку). Руки двигаются маятникообразно, пальцы рук свободно сложены, предплечья не напряжены, плечи не поднимаются вверх. При финишировании, длина которого зависит от дистанции и оставшихся сил бегуна, движения руками делаются быстрее, наклон тела увеличивается, а угол отталкивания уменьшается. Спортсмен переходит на скоростной бег, при котором скорость повышается главным образом за счет увеличения частоты шагов. К концу дистанции вследствие утомления некоторые бегуны наклоняют туловище назад. Такое положение туловища не способствует эффективности бега, так как усилия отталкивания направляются больше вверх. Техника бега на вираже имеет некоторые особенности: туловище немного наклонено влево, к бровке, правая рука движется несколько размашистей левой, причем правый локоть дальше отводится в сторону, а правая стопа ставится с некоторым поворотом внутрь. Ритм дыхания зависит от индивидуальных особенностей и скорости бега (с увеличением скорости бега увеличивается и частота дыхания). Бегун не должен задерживать дыхание. Дышать следует одновременно через нос и полуоткрытый рот, при этом важно следить за полным выдохом.

2.4.3. Возможные ошибки и осложнения в ходе проведения самостоятельных тренировок

В некоторых случаях тренировка может стать причиной различных осложнений, включая травмы опорно-двигательного аппарата.

Основная причина травматизма опорно-двигательного аппарата - перенапряжение. Слишком быстрое увеличение тренировочных нагрузок является чрезмерным для детренированных мышц, связок и суставов. К дополнительным факторам, способствующим повреждению опорно-двигательного аппарата, можно отнести:

- бег по твердому грунту;
- избыточную массу тела;

- обувь, не пригодную для бега;

-грубые ошибки в технике.

Следовательно, меры по профилактике травм должны быть направлены на устранение или ослабление воздействия этих факторов:

- Во время кроссового бега часто болит в правом боку (печень), либо в левом боку (селезенка). Печень важный орган в жизнедеятельности нашего организма (синтез жиров и углеводов, обмен белков и витаминов) является кровяным депо. Так вот в результате переполнения кровью печени возникают колики. Глубокое дыхание снижает приток крови к правому предсердию, уменьшает болевые ощущения. Бег не надо прекращать, необходимо снизить скорость передвижения и стараться дышать глубже.

- В процессе тренировок после значительного перерыва (отдыха) или при резком увеличении нагрузок могут появляться боли в мышцах, как правило, на другой день. Во время физической работы в организме образуются продукты распада, часть которых выводится из организма через мочевыделительную систему, а другая часть, в том числе, молочная кислота задерживается в мышечных тканях. Чтобы избавиться от нее, необходимо мышцу непосредственно после физической нагрузки заставить растянуться (с помощью упражнений на растяжение), а на следующий день выполнять какую-либо физическую работу, т.е. сокращаться. Эти меры помогут ускорить вывод молочной кислоты из мышц. Боли могут длиться несколько дней и если не предпринимать никаких мер, мышца теряет эластичность, становиться твердой. В этом случае могут помочь: массаж, банные процедуры, применение согревающих мазей и гелей.

- При выполнении напряженной физической работы длительное время, например, кроссовый бег, возникают такие состояния, которые получили название «мертвая точка» и «второе дыхание». Уже через некоторое время бега в организме начинаются изменения, которые заставляют нас прекратить мышечную деятельность. Такое временное снижение работоспособности получило название «мертвая точка». Механизм возникновения такого состояния недостаточно изучен. Предполагают, что он обусловлен временным нарушением деятельности скелетных мышц и органов, обеспечивающих доставку кислорода в организм. Эти нарушения приводят к изменениям в работе нервных центров, что, в свою очередь, приводит к нарушениям в работе отдельных физиологических систем. Время возникновения и продолжительность этого состояния зависит от многих факторов, в частности от длительности и интенсивности физической нагрузки (например, при беге на 5-10 км и более возникает через 5-6 мин бега), от тренированности. Чем лучше тренирован человек, тем позже возникает это состояние и протекает менее тяжело (почти незаметно). Преодоление этого состояния требует значительного волевого усилия. В процессе проведения учебных и тренировочных занятий необходимо приучать себя преодолевать это неприятное ощущение, возникающее при

кислородной недостаточности и накоплении продуктов кислотно-щелочного распада при обмене веществ. Наступлению «второго дыхания» способствуют усиленные дыхательные упражнения, глубокие выдохи, освобождающие организм от накопившейся углекислоты, что способствует наступлению кислотно-щелочного баланса в организме. Преодолеть состояние «мертвой точки» можно, если снизить интенсивность физической нагрузки, но это нежелательно, т.к. не будет адаптации организма к такого рода деятельности.

- При занятиях физическими упражнениями могут возникнуть отклонения в деятельности сердца - учащенное сердцебиение. Оно может быть следствием стенокардии, ссоры, неурядицы в быту, семье, боязни, страха, дистрофий миокарда. Возникновение болей - сигнал опасности, в этих случаях необходимо прекратить занятия и обратиться к врачу.

- Существует состояние, называемое гравитационным шоком. Часто возникает при внезапной остановки после относительно интенсивного бега (чаще после финиша) в связи с прекращением действия «мышечного насоса». Большая масса крови застаивается в раскрытых капиллярах и венах мышц нижних конечностей, на периферии. Возникает анемия (обескровливание) мозга, недостаточное снабжение его кислородом. Появляется резкое побледнение, слабость, головокружение, тошнота, потеря сознания, исчезновение пульса. Пострадавшего необходимо уложить на спину, поднять вверх ноги (выше головы), обеспечив отток венозной крови к сердцу, улучшив снабжение головного мозга кислородом, поднести к носу ватку смоченную нашатырным спиртом. Основная профилактика гравитационного шока - исключение внезапной остановки, постепенное замедление бега.

- Гипогликемическое состояние - следствие недостаточного количества в организме сахара, нарушение углеводного обмена в результате длительной физической нагрузки. Ощущается сильный голод, головокружение, иногда потеря сознания. Профилактика – легко усваиваемые углеводы до начала длительной физической нагрузки (немного сахара, меда и т.п.) или специальные питательные смеси.

- Солнечный и тепловой удары - возникают при длительной работе под действием солнечных лучей на обнаженную голову или тело. Тепловой удар - остро развивающееся болезненное состояние, обусловленное перегреванием организма. Его признаками являются: усталость, головная боль, слабость, боли в ногах, спине, тошнота, шум в ушах, повышение температуры, потемнение в глазах, ухудшение дыхания (прерывистое), потеря сознания.

Первая помощь: пострадавшего поместить в прохладное место, снять одежду, приподнять голову, охладить область сердца (холодный компресс), напоить. Дать понюхать нашатырный спирт, сердечные средства. При нарушении дыхания сделать искусственное дыхание.

При обморожениях на охлажденном участке вначале чувствуется легкое пощипывание, затем чувствительность теряется. Особенно поддаются ему пальцы рук, ног, нос, уши. Если

произошло обморожение нельзя растирать пораженные места снегом, это только повредит кожу. Необходимо поместить обмороженный участок в тепло не растирать, а согревать при комнатной температуре. Обмороженные места смазать жиром (вазелином).

3. Актуальность задачи повышения уровня готовности обучающихся к зачетным занятиям, на основе управляемой адаптации к смене видов учебно-познавательной деятельности

Выполнение контрольных нормативов требует от студента мобилизации всех своих сил и здесь следует принимать во внимание и учитывать все что может повлиять на конечный результат, в том числе характер учебно-познавательной деятельности предшествующий зачетному занятию.

В течение учебного дня, занимаясь то одним видом учебно-познавательной деятельности, то другим, обучающиеся должны переключаться с выполнения одного вида задач на другой, и каждый раз проходит какое-то время, пока будет достигнуто оптимальное соответствие состояния личности и организма обучающегося к условиям проведения определенного вида учебно-познавательной деятельности – период адаптации.

Можно говорить о том, что к каждому учебному занятию кроме практической и теоретической подготовленности, определенного уровня умений и навыков по предмету, от студентов требуется некоторая психофизиологическая и физическая готовность. В этом случае под ней подразумевается готовность психических, физиологических и обеспечивающих двигательные действия систем человека к выполнению определенного рода учебно-познавательной деятельности.

Многообразие видов учебно-познавательной деятельности определяет многообразие психофизиологических и физических состояний обучающихся. Под психофизиологическим и физическим состоянием предлагается понимать целостные психофизиологические и физические реакции обучаемого на внешние и внутренние факторы, направленные на достижение полезного результата.

Параметром психофизиологического и физического состояния является величина, характеризующая какую-либо из реакций организма обучаемого на внешние или внутренние факторы.

Уровень психофизиологической и физической готовности к предстоящему занятию, зависит от индивидуальных особенностей личности обучаемого и определенных внешних факторов, воздействующих на него на предыдущем занятии. Эти факторы можно разделить на три вида:

- санитарно-гигиенические условия;
- временные условия;

- организация предыдущего вида учебно-познавательной деятельности.

К санитарно-гигиеническим условиям относятся температура и влажность воздуха, освещенность, содержание кислорода в воздухе, эргономичность учебных мест, запыленность, загазованность места проведения занятия. К временным условиям относятся: время дня, день недели, месяц семестра, время года, а также время, прошедшее после последнего приема пищи.

Вышеперечисленные факторы оказывают существенное влияние на психофизиологическую и физическую готовность. Второй фактор заставляет учитывать объективные закономерности колебания уровня работоспособности студентов в течение учебного дня, учебной недели, семестра. Как известно, в течение учебного дня объективно наблюдается два периода подъема работоспособности: один в первой половине дня, второй – в послеобеденное время. Каждому периоду характерны три фазы: врабатывание, повышенная работоспособность, снижение работоспособности. В течение недели те же фазы распределяются следующим образом: понедельник, вторник – врабатывание; среда, четверг – повышенная работоспособность; пятница, суббота – снижение работоспособности. Исследования показали, что и семестровый цикл разделяется на те же фазы.

Влияние фактора «организация предыдущего вида учебно-познавательной деятельности» в данном случае рассматривается, как влияние особенностей психофизиологической и физической деятельности обучаемых на предыдущем занятии на их психофизиологическую и физическую готовность к последующему виду учебно-познавательной деятельности, в нашем случае к зачету. Психофизиологическая деятельность характеризуется напряженностью и характером мыслительной деятельности, а также нервно-эмоциональной напряженностью учебной деятельности.

Физическая деятельность характеризуется интенсивностью, видом мышечных действий и работой обеспечивающих эту деятельность физиологических систем. Мышечные действия могут носить статический и динамический характер: поддержание рабочей позы «сидя», «стоя», выполнение чертежной, письменной работы, настройка и обслуживание аппаратуры, выполнение гимнастических упражнений и т.п. При этом используются, в той или иной степени, основные физические качества: сила, быстрота, выносливость, ловкость.

Влияние всех вышеперечисленных факторов преломляется через индивидуальные особенности личности, такие как типологические свойства нервной системы и темперамента, возрастные, морфологические, биохимические особенности организма, уровень физической подготовленности, состояние здоровья и другие, выливаясь, в итоге, в психофизиологическую и физическую готовность студента к предстоящему виду учебно-познавательной деятельности.

Следует отметить, что особенно явно эти проблемы проявляются при чередовании занятий по общенаучным, общеинженерным и специальным дисциплинам с практическими

занятиями по физической культуре. В этом случае происходит смена видов деятельности, в одном из которых доминирующую роль играет умственная работа с пониженной двигательной активностью и сохранением определенной рабочей позы, в другом – разнообразная активная двигательная деятельность с сопровождающей ее мыслительной работой.

Методика проведения занятий предусматривает проведение вводной (подготовительной) части для организации обучающихся, приведения их в состояние готовности к решению задач основной части, в нашем случае к сдаче контрольного норматива, и заключительной – для подведения итогов, приведения организма в относительно спокойное состояние (для занятий по физической культуре), но при проведении этих частей занятий, как правило, не учитывается характер предыдущей и последующей деятельности студентов. Неучтение этого факта отрицательно влияет на скорость адаптации к виду учебно-познавательной деятельности, что особенно наглядно проявляется при чередовании практических занятий по физической культуре с занятиями по общеинженерным и специальным дисциплинам.

Складывается противоречие между имеющим место в практике обучения несоответствием уровня психофизиологической и физической готовности обучающихся, объективно складывающейся в ходе проведения предшествующего занятия, видом учебно-познавательной деятельности последующего занятия и неучтением этого факта в общепринятых методиках проведения вводных (подготовительных) и заключительных частей занятий, в том числе, по дисциплине «физическая культура»

Это противоречие можно устранить, обеспечив управление процессом адаптации студентов к смене видов учебно-познавательной деятельности в ходе проведения вводных (подготовительных) и заключительных частей занятий.

Для каждой темы занятия по физической культуре в зависимости от педагогической ситуации, складывающейся из контекстной пары - вид предшествующего и вид последующего занятия, можно установить наиболее предпочтительные адаптирующие, предметно-ориентированные варианты проведения подготовительной и заключительной частей, оперативно поддерживающие достаточно высокий уровень психофизиологической и физической готовности при чередовании этих занятий с занятиями по другим дисциплинам.

Видится актуальной задача управления процессом адаптации обучаемых к смене видов учебно-познавательной деятельности с целью сокращения времени врабатывания и повышения эффективности как занятий, так и сдачи контрольных нормативов. Для решения этой задачи представляется наиболее целесообразным использовать проведение подготовительной (разминки) и заключительной частей занятий с адаптирующим, предметно-ориентированным содержанием.

В этом случае под управлением адаптацией следует понимать процесс педагогического воздействия с целью установления оптимального соответствия личности обучаемого и условий осуществления учебной деятельности в ходе осуществления им познавательной деятельности, которое позволяет индивидууму более эффективно удовлетворять актуальные познавательные потребности, и реализовывать связанные с ними значимые цели.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Б1.Б.08 РУССКИЙ ЯЗЫК И КУЛЬТУРА РЕЧИ

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Профиль
Производство и реновация машин и оборудования

квалификация выпускника: **бакалавр**

формы обучения: **очная, заочная**

Автор: Карякина М. В., канд. филол. наук

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией
иностранных языков и деловой коммуникации	горно-механического факультета
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Юсупова Л. Г.	Барановский В. П.
Протокол № 6 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019 *(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

Методические указания адресованы студентам, обучающимся по направлению подготовки «Машиностроение», и призваны обеспечить эффективную самостоятельную работу по курсу «Русский язык и культура речи».

ОБЪЕМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Суммарный объем часов на СРО *очной формы обучения* составляет 76 часов.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					67
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	2,0 x 16 = 12	32
2	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2,0 x 8 = 16	16
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,3-0,5	0,5 x 1 = 0,5	1
4	Подготовка к контрольной работе	1 работа	1,0-25,0	12 x 1 = 12	12
5	Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (практико-ориентированного задания)	1 тема	0,3-2,0	2,0 x 1 = 2	2
6	Подготовка к деловой игре	1 занятие	1,0-4,0	4,0 x 1 = 4	4
Другие виды самостоятельной работы					9
7	Подготовка к зачету	1 зачет			9
	Итого:				76

Суммарный объем часов на СРО *заочной формы* обучения составляет 96 часов.

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Единица измерения	Норма времени, час	Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.	Принятая трудоемкость СРО, час.
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					44
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	2,0 x 4 = 8	8
2	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2,0 x 2 = 4	4
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,3-0,5	0,5 x 1 = 0,5	1
4	Подготовка к контрольной работе	1 работа	1,0-25,0	25 x 1 = 25	25
5	Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (практико-ориентированного задания)	1 тема	0,3-2,0	2,0 x 1 = 2	2
6	Подготовка к деловой игре	1 занятие	1,0-4,0	4,0 x 1 = 4	4
Другие виды самостоятельной работы					52
6	Подготовка к зачету	1 зачет			52
	Итого:				96

Формы контроля самостоятельной работы студентов: проверка на практическом занятии, проверка контрольной работы, проверка самостоятельного письменного домашнего задания (практико-ориентированного задания), зачет (тест и практико-ориентированное задание).

ФОРМЫ И СОДЕРЖАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Повторение материала лекций состоит в работе с конспектом, записанным на лекционном занятии (чтение, подчеркивание и запоминание главного), а также в работе с дополнительной литературой по теме (чтение, конспектирование, сопоставление с материалом лекций). Из списка дополнительной литературы студенты должны ознакомиться с несколькими источниками по каждой теме (минимум 2).

Дополнительная литература по темам:

Тема	Литература
Современный русский язык	- *Русский язык и культура речи* [Электронный ресурс]: курс лекций для бакалавров всех направлений/ – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2016. – 72 c. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/54478.html/ - ЭБС «IPRbooks», по паролю. - *Кронгауз М. А.* Русский язык на грани нервного срыва. – М.: Corpus, 2017. - *Чуковский К. И.* Живой как жизнь. – М.: Зербра Е, 2009. - Федеральный закон «О государственном языке Российской Федерации». – Режим доступа: http://rus-gos.spbu.ru/index.php/bills
Культура речи. Нормы литературного языка	- *Карякина М. В.* Русский язык и культура речи. Подготовка к контрольному тестированию. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 71 с. - *Культура устной и письменной речи делового человека*: Справочник. Практикум. / Н. С. Водина и др. – М.: Флинта: Наука, 2012. – 320 с. Введенская Л. А., Павлова Л. Г., Кашаева Е. Ю. Русский язык и культура речи / Л. А. Введенская, Л. Г. Павлова, Е. Ю. Кашаева. – 5-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», Феникс, 2010. – 488 с. - *Меленскова Е. С.* Культура речи и деловое общение: тестовые задания для студентов всех специальностей. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 78 с. - *Розенталь Д. Э.* Справочник по правописанию и литературной правке / Под ред. И. Б. Голуб. 9-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 368 с. - *Розенталь Д. Э.* Лексика и стилистика: Правила и упражнения / Д. Э. Розенталь. — М.: Мир и Образование, 2016. — 96 c. – Режим доступа: http://mio-books.ru/content/files/catalog1/_otryvok_Leks_i_stil.pdf - *Русский язык и культура речи. Семнадцать практических занятий* / Е. В. Ганапольская, Т. Ю. Волошинова, Н. В. Анисина, Ю. А. Ермолаева, Я. В. Лукина, Т. А. Потапенко, Л. В. Степанова. Под ред. Е. В. Ганапольской, А. В. Хохлова. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с. *Скворцов Л. И.* Большой толковый словарь правильной русской речи [Электронный ресурс]/ Скворцов Л. И.— Электрон. текстовые данные. — М.: Мир и Образование, Оникс, 2009. — 1104 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/14555.html. — ЭБС «IPRbooks», по паролю
Стилистика. Научный и официально-деловой стиль	- *Аскарина Н. А.* Технология подготовки научного текста: учебно-методическое пособие. 3-е изд., стер. – М.: Флинта: Наука, 2017. – 112 с. - *Карякина М. В.* Культура научной речи: учебное пособие / М. В. Карякина; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 131 с. - *Кожина М. Н.* Стилистика русского языка: учебник / М. Н. Кожина, Л. Р. Дускаева, В. А. Салимовский. – М.: Флинта: Наука, 2008 – 464 с. - *Колтунова М. В.* Язык и деловое общение. Нормы. Риторика. Этикет. – М., 2000. - *Меленскова Е. С.* Стилистика русского языка: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 86 с.
Нормы делового общения	- *Введенская Л. А., Павлова Л. Г.* Деловая риторика: учебное пособие для вузов / Л. А. Введенская, Л. Г. Павлова. – 5-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», Феникс, 2010. – 488 с. - *Гойхман О. Я., Надеина Т. М.* Речевая коммуникация. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 207с.

	- *Лавриненко В. Н.* Психология и этика делового общения. – Москва: Юрайт, 2012. – 592 с.

Подготовка к практическим занятиям заключается в повторении необходимого теоретического материала и выполнении индивидуальных или групповых заданий по изучаемым темам. Эта работа выполняется по основной литературе:

Гавриленко Р. И., Меленскова Е. С., Шалина И. В. Русский язык и культура речи: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – 85 с.
Гавриленко Р. И. Русский язык делового общения: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2018. – 100 с.
Голуб И.Б. Русская риторика и культура речи [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Голуб И.Б., Неклюдов В.Д.— Электрон. текстовые данные. — М.: Логос, 2012. — 328 c.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/9074.html. — ЭБС «IPRbooks», по паролю
Меленскова Е. С. Русский язык делового общения: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2018. – 80 с.

Для подготовки к практическим занятиям преподаватель может привлекать дополнительную литературу, а также раздаточный материал.

Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля) подготавливаются студентами самостоятельно по теме «Современный русский язык». Материалом для подготовки служат конспекты лекций, основная и дополнительная литература. Опрос проводится на практическом занятии. Вопросы для опроса следующие:

1. Каково происхождение русского национального языка?
2. Каковы разновидности современного русского национального языка?
3. Что такое территориальные диалекты?
4. Что такое диалектизмы?
5. Что такое жаргон и какие виды жаргонов существуют?
6. Что такое жаргонизмы?
7. Что такое просторечие?
8. Каково современное состояние современного русского национального языка?
9. Каковы тенденции развития современного русского национального языка?
10. Что такое литературный язык и каковы его признаки?

Подготовка к контрольной работе по теме «Культура речи. Нормы литературного языка» проводится как аудиторно (на практических занятиях в ходе выполнения и проверки заданий), так и самостоятельно. Самостоятельная подготовка предполагает работу со словарями, справочниками, сборниками тестовых и практических заданий.

Практические задания содержатся в пособии Р. И. Гавриленко, Е. С. Меленсковой и И. В. Шалиной «Русский язык и культура речи», а также в пособии Е. С. Меленсковой «Русский язык делового общения».

Тестовые задания приводятся в пособиях Е. С. Меленсковой «Русский язык и деловое общение: тестовые задания для студентов всех специальностей» (без ключей) и М. В. Карякиной «Русский язык и культура речи. Подготовка к итоговому тестированию» (с ключами).

При выполнении заданий необходимо пользоваться словарями и справочниками, как печатными, так и электронными.

Электронные словари	Печатные словари (любое издание)

- Скворцов Л. И. Большой толковый словарь правильной русской речи [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/14555.html. — ЭБС «IPRbooks», по паролю - Грамота (сайт). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramota.ru Культура письменной речи (сайт) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramma.ru. - Русский язык: энциклопедия русского языка (сайт). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://russkiyyazik.ru. - Стилистический энциклопедический словарь русского языка (сайт). [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://stylistics.academic.ru	- Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. - Розенталь Д. Э. Словарь трудностей русского языка. - Словарь правильности русской речи. -Словарь грамматических вариантов русского языка. - Словарь лексических трудностей. - Словари синонимов, паронимов, антонимов. - Орфоэпический словарь. - Орфографический словарь. - Розенталь Д. Э. Справочник по орфографии, пунктуации и литературной правке. - Управление в русском языке. Словарь-справочник. Грамматический словарь русского языка. Словоизменение

Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (практико-ориентированного задания) осуществляется по вариантам. Каждое практико-ориентированное задание состоит из трех блоков, в которых проверяется наличие необходимых знаний, умений и формирование у студентов различных навыков. В первом блоке приводится задание по научному стилю речи, во втором и третьем – по официально-деловому стилю (составление и редактирование документов общепринятого образца). Варианты заданий приведены в комплекте оценочных материалов (КОМ).

Подготовка к деловой игре состоит в ознакомлении студентов с концепцией игры, чтении дополнительной литературы по риторике, психологии и этике делового общения, а также в записи предполагаемого хода деловой беседы, тренировке произнесения речи. Концепции различных вариантов деловых игр описаны в КОМ. Вариант игры выбирается преподавателем в зависимости от уровня подготовленности и других особенностей группы.

Подготовка к зачету предполагает тренинг выполнения тестовых заданий, который можно проводить на сайте i-exam.ru или с помощью пособий М. В. Карякиной и Е. С. Меленсковой, содержащих такие задания. Кроме подготовки к тестированию важно уделить внимание практико-ориентированным заданиям. Студенты должны ознакомиться с образцом задания и его выполнения, а также выполнить тренировочные задания.

Образец практико-ориентированного задания: напишите заявление о предоставлении Вам отпуска за свой счет.

Образец выполнения 1:

Директору ООО «Икс»
А. А. Иванову
инженера Н. П. Петрова

заявление

Прошу предоставить мне с 12.03.2017 по 17.03.2017 внеочередной отпуск без сохранения заработной платы по семейным обстоятельствам.

10.03.2017  (Н. П. Петров)

Образец выполнения 2:

Директору ОАО «Рондо»
Скворцову И. О.

от Алексеева М. А.,
программиста

Заявление

Прошу предоставить мне неоплачиваемый отпуск с 22 по 26 января текущего года по семейным обстоятельствам.

19 января 2017 г.



Если в ходе подготовки к зачету у обучающихся возникают вопросы, они должны обратиться за консультационной помощью к преподавателю.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.09 ПСИХОЛОГИЯ ДЕЛОВОГО ОБЩЕНИЯ

Направление подготовки

15.03.01 Машиностроение

Профиль

Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная
Квалификация выпускника: ***бакалавр***

форма обучения: ***очная, заочная***

Автор: Чащегорова Н.А., доцент, к.ф.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управления персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Ветошкина Т.А	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол №7 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические рекомендации к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке деловых и ролевых игр	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	15
6	Заключение	18
	Список использованных источников	19

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);
- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю;

групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

В соответствии с технологической картой письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).

---

[2] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

3.Методические рекомендации по подготовке деловых и ролевых игр

Основной целью проведения студенческих деловых игр во внеаудиторное время является привитие студентам навыков решения конкретных управленческих вопросов и накопление ими практического опыта в решении процедурных вопросов на основе создания конкретных деловых ситуаций, максимально приближенных к реальным жизненным условиям.

Деловая игра – это воспроизведение деятельности хозяйственных руководителей и кадров управления, игровое моделирование систем управления.

Деловые игры в отличие от других методов обучения позволяют наиболее полно воспроизводить деятельность руководителей и специалистов, выявить проблемы и причины появления, разрабатывать и оценивать варианты решения проблем, принимать решение и определять механизм его реализации. Это дает возможность рассматривать проблему не вообще, а как конкретную, вытекающую из хозяйственной деятельности конкретного предприятия (организации).

Одним из видов деловой игры является ролевые игры.

Ролевая игра – это метод, при котором участники игры с помощью проигрывания определенных ролей в свободной от риска ситуации обнаруживают свои значимые черты поведения в профессиональной ситуации, а также самостоятельно критически анализируют их, формируют и развивают. Роли, могут быть: директор, руководитель проекта, отдела, специалист и т.д.

Типичными техниками ролевых игр являются:

- самостоятельное (в пределах темы) конструирование ситуации;
- определение участниками общего количества ратей и их персональное распределение;
- обмен ролями в ходе игры;
- использование дублирования при отработке ролей;

Методические рекомендации

На первом этапе следует ознакомиться с целью игры и необходимой исходной информацией. Студенты самостоятельно выбирают определенную проблему или конкретную ситуацию и по желанию формируют команды таким образом, чтобы это была творческая группа.

Второй этап – самостоятельная работа студентов в командах. Здесь активно используется практический опыт каждого участника, уточняются позиции и вырабатываются обобщающие выводы или решения. При коллективном обсуждении в командах необходимо, чтобы свою точку зрения имел возможность высказать каждый участник. Коллективное обсуждение проблемы позволяет выявить разные подходы к решению одной и той же проблемы или задачи. Очень важно использование принципа консенсуса, т.е. единогласное принятие общих решений, но не путем голосования, а на основе предварительного согласия. Однако это не означает, что кто-либо из участников и в этом случае не может выйти на коллективное обсуждение в общей группе со своей точкой зрения.

Третий этап – дискуссия в группе. Каждая команда докладывает свой вариант разрешения рассматриваемой проблемы. Участники других команд выступают в качестве оппонентов, задают вопросы, выступают с критическими замечаниями или в поддержку предоставленного проекта.

Возможны случаи, когда участники не формируются в команды, а распределяются по определенным ролям. В этих играх для решения проблемы прежде всего определяется состав действующих лиц и устанавливаются их задачи. Дискуссия идет с учетом определенных ролей.

Для преодоления скованности участников, облегчения их вживания в роль и естественности их поведения желательна минимизация вмешательства руководителя в процесс игры. Функции руководителя сводятся главным образом к ознакомлению участников с условиями, целями и техниками игры, обеспечению ее нормального протекания, общему контролю за ее процессом и оказанию в случае необходимости методической помощи в достижении игровых целей, а также к общему подведению итогов, включающему, если это целесообразно, индивидуальные советы и рекомендации ее участникам.

Ходе проведения ролевых и деловых игр практически не отличается от рассмотренных ранее. Разница в том, что в первом случае выступают представитель команды, а во втором участник деловой игры действует в рамках ролевой должности.

На практических занятиях, проходящих в форме деловой игры, ее участники должны приобрести необходимые знания и практические навыки:

– по постановке стратегических и оперативных целей работы организации;

– выработке экономических решений и оценки влияния факторов внешней и внутренней среды на реализацию этих решений;

– освоению и отработки навыков коллективного генерирования идей, делового общения при выработке групповых решений;

– выявление различных точек зрения на экономическую проблему

На предприятиях ролевые игры наиболее часто используются для обучения руководителей правильному ведению собеседования, распределению заданий, обеспечению поддержки сотрудниками коллективного задания, руководству командой и т.д. С их помощью сотрудники повышают свои знания и умения в области принятия самостоятельных решений, своевременного просчитывания их последствий, развития делового общения и т.п. Ролевые игры особенно эффективны при карьерном обучении, когда сотрудник проигрывает комплекс функций, вытекающих из его будущих должностных обязанностей.

Базирование ролевых игр на повседневных, личностно значимых ситуациях обеспечивает высокую ангажированность, вовлеченность их участников. Это в свою очередь облегчает личностное принятие вырабатываемых образцов поведения, идентификацию решений и рекомендаций, перенос отработанных в игре образцов поведения в повседневные практические отношения.

4.Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой дискуссию в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия (от доски смелом до самых современных технических средств), демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что

необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на

то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины, Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На

консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368 с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный
университет»

Д. В. Исламгалиев
Г. В. Петровских, В. Б. Пяткова

МАТРИЦЫ. ОПРЕДЕЛИТЕЛИ. СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Методические указания
и варианты контрольныхи
самостоятельных работ
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного обучения

Екатеринбург

2019

П

Рецензент: В. Я. Раевский, доцент, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории теоретической физики ИФМ.

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры математики 28.05.2019 г. (протокол № 141) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Исламгалиев Д. В., Петровских Г. В., Пяткова В. Б.,

П МАТРИЦЫ. ОПРЕДЕЛИТЕЛИ. СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ: методические указания и варианты контрольных и самостоятельных работ по разделу дисциплины «Математика» для студентов всех специальности очного обучения”

– Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – с.

Учебно-методическое пособие предназначено студентам всех специальностей для изучения темы: «Матрицы. Определители. Стстемы линейных алгебраических уравнений».

© Исламгалиев Д. А., Петровских Г.В., Пяткова В.Б., 2019

© Уральский государственный горный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. МАТРИЦЫ 5

1.1. Действия над матрицами 6

1.2. Определители 8

1.3. Обратная матрица 11

2.4. Ранг матрицы 12

2. РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ (СЛАУ) 13

2.1. Методы решений определенной неоднородной СЛАУ 16

2.2. Метод решения неопределенных неоднородных СЛАУ 23

2.3. Методы решений определенной однородной СЛАУ 25

2.4. Методы решений неопределенной однородной СЛАУ 27

3. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ 29

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 59

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания по теме «Матрицы. Определители. Системы линейных алгебраических уравнений» могут быть использованы как для проведения контрольных работ, так и для самостоятельной работы студентов. Они удовлетворяют всем требованиям государственного образовательного стандарта по подготовке дипломированных специалистов всех специальностей.

В методических указаниях представлены основные теоретические сведения и разобраны примеры решения задач по теме «Матрицы. Определители. Системы линейных алгебраических уравнений» для студентов всех специальностей. Приведены решения большого количества типовых задач и варианты контрольных работ.

После изучения теории и решений типовых задач студенту рекомендуется самостоятельно решить один из вариантов контрольных работ.

МАТРИЦЫ

Матрица – это прямоугольная таблица чисел, расположенных в m строках и n столбцах. Матрицы обозначаются большими латинскими буквами: *A, B, C* и т.д.

$$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}. \qquad (1.1)$$

Числа ,входящие в таблицу называются ее элементами и обозначаются символом a_{ij} , где первый индекс i определяет номер строки, второй индекс j – номер столбца. Выражение $m \times n$ и называют размерностью матриц.

Например, матрица А имеет размерность 2×3:

$$A=\begin{pmatrix} -4 & 8 \\ 5 & 9 \\ -1 & 3 \end{pmatrix},$$

а матрица B имеет размерность 3×2:

$$B=\begin{pmatrix} 4 & 5 & -3 \\ 7 & 5 & -1 \end{pmatrix}.$$

Если в матрице число строк совпадает с числом столбцов, то матрица называется квадратной. Понятие размерности матрицы для квадратной матрицы заменяют понятием порядок матрицы. Порядок квадратной матрицы равен числу строк или столбцов этой матрицы.

Для квадратной матрицы вводятся понятия главной и побочной диагоналей. Главная диагональ состоит из элементов a_{ij} с одинаковыми индексами, побочная диагональ состоит из элементов a_{ij} сумма индексов которых равна $n+1$.
Если элементы квадратной матрицы, стоящей на главной диагонали, равны единице, а все остальные равны нулю, то матрица называется единичной и обозначается

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}.$$

1.1. ДЕЙСТВИЯ НАД МАТРИЦАМИ

Сложение матриц

Операция сложения вводится только для матриц , имеющих одинаковые размерности .Суммой двух матриц называют такую матрицу, у которой каждый элемент равен сумме соответствующих элементов исходных матриц.

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix} \pm \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \pm b_{11} & a_{12} \pm b_{12} & a_{13} \pm b_{13} \\ a_{21} \pm b_{21} & a_{22} \pm b_{22} & a_{23} \pm b_{23} \end{pmatrix} \qquad (1.2)$$

***Пример* 1.1.** Даны матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 2 & 1 \\ 6 & -2 \end{pmatrix} \text{ и } B = \begin{pmatrix} 7 & 3 \\ 4 & -5 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Найти $A + B$; $B - A$.

Решение: $A + B = \begin{pmatrix} 10 & 7 \\ 6 & -4 \\ 6 & -3 \end{pmatrix}$; $B - A = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 2 & -6 \\ -6 & 1 \end{pmatrix}$.

Умножение матрицы на число

Для того чтобы умножить матрицу на число следует каждый элемент матрицы умножить на это число.

$$\lambda \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda a_{11} & \lambda a_{12} \\ \lambda a_{21} & \lambda a_{22} \end{pmatrix} \qquad (1.3)$$

***Пример* 1.2.** Дана матрица $A=\begin{pmatrix}4 & 5 & -3\\ 7 & 5 & -1\end{pmatrix}$. Найти матрицу $-3A\,.\,A\cdot B$

Решение:

$$-3\cdot A=-3\cdot\begin{pmatrix}4 & 5 & -3\\ 7 & 5 & -1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-12 & -15 & 9\\ -21 & -15 & 3\end{pmatrix}.$$

Умножение матриц

Произведение двух матриц определяется тогда, когда количество столбцов первой матрицы совпадает с количеством строк второй матрицы. Элемент c_{ij} матрицы произведения, стоящий на пересечении i–той строки и j–того столбца равен сумме произведений элементов i–той строки первой матрицы на элементы j–того столбца второй матрицы, т.е. по формуле $c_{ij}=\sum_k a_{ik}\cdot b_{kj}$.

$$\begin{pmatrix}a_{11} & a_{12}\\ a_{21} & a_{22}\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}b_{11} & b_{12}\\ b_{21} & b_{22}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}a_{11}\cdot b_{11}+a_{12}\cdot b_{21} & a_{11}\cdot b_{12}+a_{12}\cdot b_{22}\\ a_{21}\cdot b_{11}+a_{22}\cdot b_{21} & a_{21}\cdot b_{12}+a_{22}\cdot b_{22}\end{pmatrix} \qquad (1.4)$$

***Пример* 1.3.** Даны матрицы $A=\begin{pmatrix}4 & 5 & 1\\ 3 & 2 & -1\end{pmatrix}$ и $B=\begin{pmatrix}3 & 0\\ -1 & 2\\ 7 & 1\end{pmatrix}$. Найти произведение матриц: $A\cdot B$ и $B\cdot A$.

Решение:

$$A.\cdot B=\begin{pmatrix}4 & 5 & 1\\ 3 & 2 & -1\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}3 & 0\\ -1 & 2\\ 7 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}4\cdot 3+5\cdot(-1)+1\cdot 7 & 4\cdot 0+5\cdot 2+1\cdot 1\\ 3\cdot 3+2\cdot(-1)+(-1)\cdot 7 & 3\cdot 0+2\cdot 2+(-1)\cdot 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}14 & 11\\ 0 & 3\end{pmatrix}$$

$$B.\cdot A=\cdot\begin{pmatrix}3 & 0\\ -1 & 2\\ 7 & 1\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}4 & 5 & 1\\ 3 & 2 & -1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}3\cdot 4+0\cdot 3 & 3\cdot 5+0\cdot 2 & 3\cdot 1+0\cdot(-1)\\ -1\cdot 4+2\cdot 3 & -1\cdot 5+2\cdot 2 & -1\cdot 1+2\cdot(-1)\\ 7\cdot 4+1\cdot 3 & 7\cdot 5+1\cdot 2 & 7\cdot 1+1\cdot(-1)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}12 & 15 & 3\\ 2 & -1 & -3\\ 31 & 37 & 6\end{pmatrix}$$

Отметим, что произведение матриц некоммутативное, т.е. $A\cdot B\neq B\cdot A$.

Транспонирование матрицы

Транспонированной к матрице A называется матрица, полученная из матрицы A путем замены строки на столбец с такими же индексами. Транспонированная матрица обозначается A^T.

Если $$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix}, \text{ то } A^T=\begin{pmatrix} a_{11}\, a_{21} \\ a_{12}\, a_{22} \\ a_{13}\, a_{23} \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

***Пример* 1.4.** Найти транспонированную матрицу, к матрице $A=\begin{pmatrix} 3 & 0 \\ -1 & 2 \\ 7 & 1 \end{pmatrix}$.

Решение:

$$A^T=\begin{pmatrix} 3 & -1 & 7 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

1.2. ОПРЕДЕЛИТЕЛИ

Определитель – это числовая характеристика квадратной матрицы. Определители в литературе обозначаются $\det A$, $\Delta A, |A|$.

Определитель первого порядка

Определителем матрицы первого порядка, составленной из числа a_{11}, называется само число a_{11}

$$\det A = a_{11} \quad (1.6)$$

Определитель второго порядка

Определителем матрицы второго порядка, составленной из чисел $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$, называется число, определяемое равенством

$$\det A=\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \quad (1.7)$$

Числа $a_{11},a_{12},a_{21},a_{22}$ называются элементами определителя, причем элементы a_{11},a_{22} образуют главную диагональ, а элементы a_{12},a_{21} – побочную диагональ. Таким образом, определитель второго порядка равен произведению элементов главной диагонали минус произведение элементов побочной диагонали.

***Пример* 1.5.** Вычислить определитель $\det A = \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 4 & -2 \end{vmatrix}$.

Решение:

$$\det A = \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 4 & -2 \end{vmatrix} = 1 \cdot (-2) - 3 \cdot 4 = -14$$

***Пример* 1.6.** Вычислить определитель $\det A = \begin{vmatrix} -5 & -3 \\ 4 & 1 \end{vmatrix}$.

Решение:

$$\det A = \begin{vmatrix} -5 & -3 \\ 4 & 1 \end{vmatrix} = -5 \cdot 1 - (-3) \cdot 4 = 7 .$$

Определитель третьего порядка

Рассмотрим определитель третьего порядка:

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

Минором M_{ij} элемента a_{ij} называется определитель, который получается вычеркиванием из данного определителя *i*–той строки и *j*–того столбца.

Алгебраическое дополнение A_{ij} элемента a_{ij} определяется по формуле

$$A_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij},$$

где M_{ij} – минор для элемента со строкой i и столбцом j.

Определителем третьего порядка, составленным из чисел $a_{11},a_{12},a_{13},a_{21},$ $a_{22},a_{23},a_{31},a_{32},a_{33}$, называется число:

$$\det A=\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}=\sum_{k=1}^{3} a_{ik}\cdot A_{ik}\,;\det A=\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}=\sum_{k=1}^{3} a_{kj}\cdot A_{kj} \quad (1.8)$$

для фиксированного значения *i*–той строки или *j*–того столбца.

Такие равенства называют разложением определителя по элементам строки или столбца.

Тогда разложение определителя третьего порядка по первой строке примет вид:

$$\det A=\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}=(-1)^{1+1}\cdot a_{11}\begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}+(-1)^{1+2}\cdot a_{12}\begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix}+ \quad (1.9)$$

$$+(-1)^{1+3}\cdot a_{13}\begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix},$$

а разложение по второму столбцу принимает вид:

$$\det A=\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}=(-1)^{1+2}\cdot a_{12}\begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix}+(-1)^{2+2}\div a_{22}\begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix}+ \quad (1.10)$$

$$+(-1)^{3+2}\cdot a_{32}\begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} \\ a_{21} & a_{23} \end{vmatrix}.$$

***Пример* 1.7.** Вычислить определитель $\det A=\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}$.

а) разложением по элементам первой строки;

б) разложением по элементам третьего столбца

Решение:

$$a)\ \det A=\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}=(-1)^{1+1}\cdot 1\begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 8 & 9 \end{vmatrix}+(-1)^{1+2}\cdot 2\begin{vmatrix} 4 & 6 \\ 7 & 9 \end{vmatrix}+(-1)^{1+3}\cdot 3\begin{vmatrix} 4 & 5 \\ 7 & 8 \end{vmatrix}=.$$

$$=1(5\cdot 9-6\cdot 8)-2(4\cdot 9-6\cdot 7)+3(4\cdot 8-5\cdot 7)=0$$

$$б)\begin{vmatrix}1 & 2 & 3\\ 4 & 5 & 6\\ 7 & 8 & 9\end{vmatrix}=(-1)^{1+3}\cdot 3\begin{vmatrix}4 & 5\\ 7 & 8\end{vmatrix}+(-1)^{2+3}\cdot 6\cdot\begin{vmatrix}1 & 2\\ 7 & 8\end{vmatrix}+(-1)^{3+3}\cdot 9\cdot\begin{vmatrix}1 & 2\\ 4 & 5\end{vmatrix}=$$

$$=3\cdot(4\cdot 8-5\cdot 7)-6\cdot(1\cdot 8-2\cdot 7)+9(1\cdot 5-2\cdot 4)=$$

$$=3\cdot(-3)-6(-6)+9\cdot(-3)=0$$

***Пример* 1.8.** Вычислить определитель $\det A=\begin{vmatrix}2 & 1 & 5\\ 2 & 7 & 0\\ 3 & -1 & 0\end{vmatrix}$.

Решение: Так как наибольшее количество нулей в третьем столбце, то воспользуемся разложением по третьему столбцу (при этом второе и третье слагаемые будут равны нулю):

$$\det A=\begin{vmatrix}2 & 1 & 5\\ 2 & 7 & 0\\ 3 & -1 & 0\end{vmatrix}=(-1)^{1+3}\cdot 5\cdot\begin{vmatrix}2 & 7\\ 3 & -1\end{vmatrix}+0+0=5(-2-21)=-115.$$

1.3. ОБРАТНАЯ МАТРИЦА

Рассмотрим квадратную матрицу A порядка n. Если существует квадратная матрица B такая, что $AB=BA=E$, то матрица B называется обратной к матрице А и обозначается A^{-1}. Обратную матрицу A^{-1} можно найти по формуле:

$$A^{-1}=\frac{1}{\det A}\left(A^{*}\right)^{T}\qquad(\det A\neq 0),\tag{1.11}$$

где A^{*} – матрица алгебраических дополнений $\mathrm{A_{ij}}$:

$$A^{*}=\begin{pmatrix}A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n}\\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn}\end{pmatrix},\quad A_{ij}=(-1)^{i+j}\cdot M_{ij}$$

M_{ij} – миноры для элементов a_{ij} со строкой i и столбцом j.

После нахождения обратной матрицы можно воспользоваться проверкой,

$$A\cdot A^{-1}=E,\ \text{т.е.}\tag{1.12}$$

должна получиться единичная матрица Е.

***Пример* 1.9.** Найти обратную матрицу для матрицы $A=\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ -1 & 4 & 3 \\ -3 & 2 & 0 \end{pmatrix}$.

Решение:

1) Найдем определитель матрицы

$$\det A=\begin{vmatrix} 0 & 4 & 4 \\ -1 & 4 & 3 \\ -3 & 2 & 0 \end{vmatrix}=4$$

2) Найдем алгебраические дополнения:

$$A_{11}=(-1)^{1+1}\cdot\begin{vmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 0 \end{vmatrix}=-6 \qquad A_{21}=(-1)^{2+1}\cdot\begin{vmatrix} 4 & 4 \\ 2 & 0 \end{vmatrix}=8 \qquad A_{31}=(-1)^{3+1}\cdot\begin{vmatrix} 4 & 4 \\ 4 & 3 \end{vmatrix}=-4$$

$$A_{12}=(-1)^{1+2}\cdot\begin{vmatrix} -1 & 3 \\ -3 & 0 \end{vmatrix}=-9 \quad A_{22}=(-1)^{2+2}\cdot\begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -3 & 0 \end{vmatrix}=12 \quad A_{32}=(-1)^{3+2}\cdot\begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -1 & 3 \end{vmatrix}=-4$$

$$A_{13}=(-1)^{1+3}\cdot\begin{vmatrix} -1 & 4 \\ -3 & 2 \end{vmatrix}=10 \quad A_{23}=(-1)^{2+3}\cdot\begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -3 & 2 \end{vmatrix}=-12 \quad A_{33}=(-1)^{3+3}\cdot\begin{vmatrix} 0 & 4 \\ -1 & 4 \end{vmatrix}=4$$

$$A^{*}=\begin{pmatrix} -6 & -9 & 10 \\ 8 & 12 & -12 \\ -4 & -4 & 4 \end{pmatrix},\ \left(A^{*}\right)^{T}=\begin{pmatrix} -6 & 8 & -4 \\ -9 & 12 & -4 \\ 10 & -12 & 4 \end{pmatrix},$$

$$A^{-1}=\frac{1}{4}\begin{pmatrix} -6 & 8 & -4 \\ -9 & 12 & -4 \\ 10 & -12 & 4 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} -1.5 & 2 & -1 \\ -2.25 & 3 & -1 \\ 2.5 & -3 & 1 \end{pmatrix}$$

Проверка:

$$A\cdot A^{-1}=\begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ -1 & 4 & 3 \\ -3 & 2 & 0 \end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix} -1.5 & 2 & -1 \\ -2.25 & 3 & -1 \\ 2.5 & -3 & 1 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

1.4. РАНГ МАТРИЦЫ

Рассмотрим матрицу размерности $m \times n$:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Рангом матрицы *rang*(A) называют наибольший из порядков миноров данной матрицы, отличных от нуля.

***Пример* 1.10.** Найти ранг матрицы $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$.

Решение:

Для большего понимания миноры будем обозначать M_k, где k – количество строк и столбцов для выбранного минора.

$$M_1 = |1| = 1, \text{ то } \quad \text{rang}(A) \geq 1$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 5 \end{vmatrix} = 1 \cdot 5 - 2 \cdot 4 = -3, \text{ то } \quad \text{rang}(A) \geq 2$$

$$M_3 = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix} = (-1)^{1+1} 1 \begin{vmatrix} 5 & 6 \\ 8 & 9 \end{vmatrix} + (-1)^{1+2} 2 \begin{vmatrix} 4 & 6 \\ 7 & 9 \end{vmatrix} + (-1)^{1+3} 3 \begin{vmatrix} 4 & 5 \\ 7 & 8 \end{vmatrix} =$$

$$= 1(5 \cdot 9 - 6 \cdot 8) - 2(4 \cdot 9 - 6 \cdot 7) + 3(4 \cdot 8 - 5 \cdot 7) = 0$$

Так как больше нет M_3, то $\text{rang}(A) = 2$.

1. РЕШЕНИЕ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ (СЛАУ)

Системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), содержащей *m* уравнений и *n* неизвестных, называется система вида

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases} \qquad (2.1)$$

где a_{ij} – коэффициенты системы, b_i – свободные члены, x_j – неизвестные, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$. Такую систему удобно записывать в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \ldots \\ b_m \end{pmatrix} \text{ или } AX = B, \qquad (2.2)$$

$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} \end{pmatrix}$ – основная матрица, $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_n \end{pmatrix}$ – матрица-столбец из неизвестных, $B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \ldots \\ b_m \end{pmatrix}$ – матрица-столбец из свободных членов.

Расширенной матрицей $\overline{A}$ называют матрицу A с присоединенной матрицей B:

$$\overline{A} = \left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} & b_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} & b_m \end{array}\right). \qquad (2.3)$$

Система уравнений называется совместной, если она имеет хотя бы одно решение, в противном случае – система несовместна.

***Теорема* 2.1: СЛАУ совместна тогда и только тогда, когда ранг расширенной матрицы равен рангу основной матрицы.**

***Пример* 2.1.** Дана расширенная матрица СЛАУ: $\overline{A}=\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 5 \end{array}\right)$. Найти ранг основной и расширенных матриц. Определить совместна ли соответствующая СЛАУ.

Решение:

1) Найдем ранг основной матрицы СЛАУ:

$$M_1=|1|=1, \text{ то } \operatorname{rang}(A)\geq 1.$$

$$M_2=\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}=0, \text{ то } \operatorname{rang}(A)=1.$$

2) Так как все миноры основной матрицы включаются в расширенную, то найдем оставшиеся миноры для расширенной:

$$\overline{M}_2=\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 5 \end{vmatrix}=-1, \text{ то } \operatorname{rang}(\overline{A})=2.$$

Так как $\operatorname{rang}(\overline{A})=2$ и $\operatorname{rang}(\mathrm{A})=1$, то СЛАУ несовместна **и не имеет решения.**

***Пример* 2.2.** Дана расширенная матрица СЛАУ: $\overline{A}=\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 6 \end{array}\right)$. Найти ранг основной и расширенных матриц. Определить совместна ли СЛАУ.

Решение:

1) Найдем ранг основной матрицы СЛАУ:

$$M_1=|1|=1, \text{ то } \operatorname{rang}(A)\geq 1.$$

$$M_2=\begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{vmatrix}=0, \text{ то } \operatorname{rang}(A)=1.$$

2) Так как все миноры основной матрицы включаются в расширенную, то найдем оставшиеся миноры для расширенной:

$$\overline{M}_2=\begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 6 \end{vmatrix}=0,\ \overline{M}_2=\begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 4 & 6 \end{vmatrix}=0, \text{ то } \operatorname{rang}(\overline{A})=1.$$

Так как $\text{rang}(\overline{A})=1$ и $\text{rang}(A)=1$, то СЛАУ совместна.

Совместная система называется определенной, если она имеет единственное решение, и неопределенной, если имеет более одного решения.

Если все свободные члены равны нулю $b_i = 0$, то СЛАУ называется однородной, в противном случае – неоднородной.

2.1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННОЙ НЕОДНОРОДНОЙ СЛАУ

Пусть имеется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), содержащая *n* уравнений и *n* неизвестных:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_n = b_n, \end{cases}$$

.

Метод Крамера

***Теорема* 2.2. Если ранг основной и расширенной матриц системы равен числу неизвестных, то система имеет единственное решение.**

Схема метода Крамера

1) Найти определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0 .$$

Если определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ отличен от нуля, то СЛАУ является определенной (имеет единственное решение).

2) Найти определители $\det A_1$, $\det A_2$,..., $\det A_n$:

$$\det A_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ b_2 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_n & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}, \det A_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & b_2 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}, \dots, \det A_n = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & b_n \end{vmatrix}$$

3) Найти решение определенной неоднородной СЛАУ:

$$x_1 = \frac{\det A_1}{\det A}, \; x_2 = \frac{\det A_2}{\det A}, \dots \; x_n = \frac{\det A_n}{\det A}.$$

***Пример* 2.3.** Решить СЛАУ, используя метод Крамера:

$$\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 = -4 \\ -x_1 + x_2 = 1 \end{cases}$$

Решение:

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = 2 \cdot 1 - (-3) \cdot (-1) = -1 \neq 0.$$

Система имеет единственное решение.

2) Найдем определители $\det A_1$, $\det A_2$:

$$\det A_1 = \begin{vmatrix} -4 & -3 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = -1, \; \det A_2 = \begin{vmatrix} 2 & -4 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = -2.$$

3) Найдем решение определенной неоднородной СЛАУ:

$$x_1 = \frac{\det A_1}{\det A} = \frac{-1}{-1} = 1; \; x_2 = \frac{\det A_2}{\det A} = \frac{-2}{-1} = 2.$$

Ответ: $X = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$.

***Пример* 2.4.** Решить СЛАУ, используя метод Крамера:

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 5, \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 1, \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 11. \end{cases}$$

Решение:

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{vmatrix} = 12.$$

Так как $\det A \neq 0$, то система уравнений совместна и определённа.

2) Для нахождения её решения используем формулы Крамера:

$$\det A_1 = \begin{vmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 11 & 1 & 3 \end{vmatrix} = 24, \det A_2 = \begin{vmatrix} 3 & 5 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 11 & 3 \end{vmatrix} = -24, \ \det A_3 = \begin{vmatrix} 3 & 2 & 5 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 11 \end{vmatrix} = 36.$$

3) Найдем решение определенной неоднородной СЛАУ:

$$x_1 = \frac{\det A_1}{\det A} = \frac{24}{12} = 2, \ x_2 = \frac{\det A_2}{\det A} = \frac{-24}{12} = -2, \ x_3 = \frac{\det A_3}{\det A} = \frac{36}{12} = 3.$$

Ответ: $X = \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix}$.

Матричный метод (метод обратной матрицы)

1) Найти определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0.$$

Если определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ отличен от нуля, то СЛАУ является определенной (имеет единственное решение).

2) Найдем обратную матрицу A^{-1}.

3) Решение находится в виде

$$X = A^{-1}B.$$

***Пример* 2.5.** Решить СЛАУ, используя матричный метод :

$$\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 = -4 \\ -x_1 + x_2 = 1 \end{cases}$$

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = 2 \cdot 1 - (-3) \cdot (-1) = -1 \neq 0,$$

то система имеет единственное решение.

2) Найдем обратную матрицу:

$$A^{-1} = \frac{1}{-1} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} -1 & -3 \\ -1 & -2 \end{pmatrix}$$

3) Тогда решение находим в виде:

$$X = A^{-1}B = \begin{pmatrix} -1 & -3 \\ -1 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}.$$

Ответ: $X = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$.

***Пример* 2.6.** Решить СЛАУ, используя матричный метод:

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 5, \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 1, \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 11. \end{cases}$$

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 1 \\ 11 \end{pmatrix}.$$

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{vmatrix} = 12.$$

Так как $\det A \neq 0$, то система уравнений является совместной и определенной.

2) Найдем обратную матрицу:

$$A^{-1} = \frac{1}{12}\begin{pmatrix} 8 & -4 & -4 \\ -5 & 7 & 1 \\ -1 & -1 & 5 \end{pmatrix}^T = \frac{1}{12}\begin{pmatrix} 8 & -5 & -1 \\ -4 & 7 & -1 \\ -4 & 1 & 5 \end{pmatrix}.$$

3) Тогда решение находим в виде:

$$X = A^{-1}B = \frac{1}{12}\begin{pmatrix} 8 & -5 & -1 \\ -4 & 7 & -1 \\ -4 & 1 & 5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 5 \\ 1 \\ 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix}.$$

Ответ: $X = \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix}$.

Метод Гаусса

1) Найти определитель основной матрицы A неоднородной СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0.$$

Если определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ отличен от нуля, то СЛАУ является определенной (имеет единственное решение).

2)Запишем СЛАУ в расширенном матричном виде:

$$\left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} & b_n \end{array}\right) \sim .$$

3) Преобразуем вторую, третью и т.д. строчки, чтобы получить нули вместо $a_{21},\ a_{31},\ a_{n1}$, то есть по формуле $\bar{a}_{ij} = a_{ij} - \frac{a_{ij}}{a_{1j}} a_{1j}$ и $\bar{b}_j = b_j - \frac{b_j}{a_{1j}} a_{1j}$:

$$\sim \left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & b_1 \\ 0 & \bar{a}_{22} & \ldots & \bar{a}_{2n} & \bar{b}_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & \bar{a}_{n2} & \ldots & \bar{a}_{nn} & \bar{b}_n \end{array} \right) \sim .$$

4) Продолжая данные преобразования, получим со второй, третьей и т.д. строками, получим

$$\sim \left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & b_1 \\ 0 & \bar{a}_{22} & \ldots & \bar{a}_{2n} & \bar{b}_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & \bar{a}_{nn} & \bar{b}_n \end{array} \right) \sim .$$

5) После чего можно найти x_{n}, т.е. требуется разделить последнюю строку на $\bar{a}_{nn}$, тогда

$$\left(\begin{array}{cccc|c} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & b_1 \\ 0 & \bar{a}_{22} & \ldots & \bar{a}_{2n} & \bar{b}_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & \bar{b}_n \end{array} \right) \sim .$$

6) Тогда преобразуя элементы a_{ij}, если $i \neq j$, и преобразуя a_{ii} в единицы, получим решение СЛАУ:

$$\sim \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & \ldots & 0 & \bar{b}_1 \\ 0 & 1 & \ldots & 0 & \bar{b}_2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & \ldots & 1 & \bar{b}_n \end{array} \right).$$

***Пример* 2.7.** Решить СЛАУ, используя метод Гаусса:

$$\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 = -4 \\ -x_1 + x_2 = 1 \end{cases}$$

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} -4 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A=\begin{vmatrix} 2 & -3 \\ -1 & 1 \end{vmatrix}=2\cdot 1-(-3)\cdot(-1)=-1\neq 0,$$

то система имеет единственное решение.

2) Запишем СЛАУ в виде расширенной матрицы и получим решение:

$$\left(\begin{array}{cc|c} 2 & -3 & -4 \\ -1 & 1 & 1 \end{array}\right)\sim\left(\begin{array}{cc|c} -1 & 1 & 1 \\ 2 & -3 & -4 \end{array}\right)\overset{1c\cdot(-1)}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & -1 & -1 \\ 2 & -3 & -4 \end{array}\right)\overset{2c-2\cdot 1c}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{array}\right)\overset{2c\cdot(-1)}{\sim}$$

$$\overset{2c\cdot(-1)}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 2 \end{array}\right)\overset{1c+2c}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{array}\right)$$

или

$$\left(\begin{array}{cc|c} 2 & -3 & -4 \\ -1 & 1 & 1 \end{array}\right)\overset{1c+3\cdot 2c}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} -1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \end{array}\right)\overset{1c\cdot(-1)}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{array}\right)\overset{2c+1c}{\sim}\left(\begin{array}{cc|c} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{array}\right).$$

Ответ: $X=\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$.

***Пример* 2.8.** Решить СЛАУ, используя метод Гаусса:

$$\begin{cases} 3x_1+2x_2+x_3=5, \\ 2x_1+3x_2+x_3=1, \\ 2x_1+x_2+3x_3=11. \end{cases}$$

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 5 \\ 1 \\ 11 \end{pmatrix}.$$

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A=\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{vmatrix}=12.$$

Если определитель основной матрицы А неоднородной СЛАУ отличен от нуля, но СЛАУ является определенной (имеет единственное решение).

2) Запишем СЛАУ в виде расширенной матрицы и получим решение:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 1 & 5 \\ 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 3 & 11 \end{array}\right) \overset{\substack{2c-1c \\ 3c-3\cdot 1c}}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 1 & 5 \\ -1 & 1 & 0 & -4 \\ -7 & -5 & 0 & -4 \end{array}\right) \overset{3c+5\cdot 2c}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 1 & 5 \\ -1 & 1 & 0 & -4 \\ -12 & 0 & 0 & -24 \end{array}\right) \overset{1c\cdot(-12)}{\sim}$$

$$\overset{1c\cdot(-12)}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 1 & 5 \\ -1 & 1 & 0 & -4 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \end{array}\right) \overset{2c+3c}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \end{array}\right) \overset{1c-2\cdot 2c-3\cdot 3c}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \end{array}\right) \sim$$

$$\sim \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \end{array}\right).$$

Ответ: $X = \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 3 \end{pmatrix}$.

2.2. МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ НЕОДНОРОДНЫХ СЛАУ

***Теорема* 2.3. Если ранг совместной системы меньше числа неизвестных, то система имеет бесчисленное множество решений.**

Пусть имеется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), содержащая m уравнений и n неизвестных:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m, \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \ldots \\ b_m \end{pmatrix} \text{ или } AX = B.$$

1) Найдем ранг основной матрицы для неоднородной СЛАУ.

2) Найдем ранг расширенной матрицы для неоднородной СЛАУ. Проверим СЛАУ на совместность и на неопределенность. Будем обозначать найденные миноры *n*-ого порядка расширенной матрицы $\tilde{M}_{\text{n}}$.

3) Если СЛАУ совместно и неопределенно решим СЛАУ, например, методом Гаусса.

Решение неопределенных неоднородных СЛАУ называют общим решением.

***Пример* 2.9.** Дано СЛАУ $\begin{cases} x_1 + x_2 - 3x_3 = 1 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 = 4 \end{cases}$. Найти решение СЛАУ.

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -3 \\ 1 & 2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix} \text{ или } \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & -3 & 1 \\ 1 & 2 & -1 & 4 \end{array}\right).$$

1) Найдем ранг основной матрицы:

$$M_1 = |1| = 1, \text{ то } \operatorname{rang}(A) \geq 1$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 1, \text{ то } \operatorname{rang}(A) = 2.$$

2) Так как строк в основной и расширенной матриц две, то и ранг расширенной матрицы $\operatorname{rang}(\overline{A}) = 2$. СЛАУ совместна и неопределенна.

3) Найдем общее решение СЛАУ. Так как $\operatorname{rang}(\overline{A}) = 2$, требуется две строки (два уравнения):

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & -3 & 1 \\ 1 & 2 & -1 & 4 \end{array}\right) \sim \left| x_3 = a \right| \sim \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1+3a & \\ 1 & 2 & 4+a & \end{array}\right) \overset{2\text{c}-1\text{c}}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1+3a & \\ 0 & 1 & 3-2a & \end{array}\right) \overset{1\text{c}-2\text{c}}{\sim} \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & -2+5a & \\ 0 & 1 & 3-2a & \end{array}\right).$$

Тогда общее решение

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2+5a \\ 3-2a \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} a,\ a \in R.$$

***Пример* 2.10.** Дано СЛАУ $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ 2x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 4 \\ 3x_1 + 3x_2 + 3x_3 = 6 \end{cases}$. Найти решение СЛАУ.

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \end{pmatrix} \text{ или } \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 4 \\ 3 & 3 & 3 & 6 \end{array}\right).$$

1) Найдем ранг основной матрицы:

$$M_1 = |1| = 1, \text{ то } \operatorname{rang}(\mathrm{A}) \geq 1$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \end{vmatrix} = 0,\ M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 3 \end{vmatrix} = 0, M_2 = \begin{vmatrix} 2 & 2 \\ 3 & 3 \end{vmatrix} = 0, \text{ то } \operatorname{rang}(A) = 1.$$

2) Найдем ранг расширенной матрицы:

$$\overline{M}_2 = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 4 \end{vmatrix} = 0, \overline{M}_2 = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 6 \end{vmatrix} = 0, \overline{M}_2 = \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ 3 & 6 \end{vmatrix} = 0, \text{ то } \operatorname{rang}(\overline{A}) = 1.$$

СЛАУ совместна и неопределенна.

3) Найдем общее решение СЛАУ. Так как $\operatorname{rang}(\overline{\mathrm{A}}) = 1$, требуется одна любая строчка (любое уравнение):

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 2 \end{array}\right) \sim \begin{vmatrix} x_1 = a \\ x_2 = b \end{vmatrix} \sim \left(\begin{array}{c|c} 1 & 2 - a - b \end{array}\right).$$

Тогда общее решение

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ 2 - a - b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} a + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix} b;\ a, b \in R.$$

2.3. МЕТОДЫ РЕШЕНИЙ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ОДНОРОДНОЙ СЛАУ

Пусть имеется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), содержащая *m* уравнений и *n* неизвестных:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = 0, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_n = 0, \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_{\text{n}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \ldots \\ 0 \end{pmatrix} \text{ или } AX = B.$$

Воспользовавшись теоремой 3.2, если

$$\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0,$$

то однородное СЛАУ имеет единственное нулевое решение. Такое решение называют тривиальным.

***Пример* 2.11.** Решить СЛАУ, используя матричный метод:

$$\begin{cases} 3x_1 + 2x_2 + x_3 = 0, \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0, \\ 2x_1 + x_2 + 3x_3 = 0. \end{cases}$$

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

1) Вычисляем определитель матрицы СЛАУ:

$$\det A = \begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{vmatrix} = 12 \neq 0.$$

СЛАУ имеет тривиальное решение, т.е. $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$.

2.4. МЕТОДЫ РЕШЕНИЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ОДНОРОДНОЙ СЛАУ

Пусть имеется система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), содержащая *m* уравнений и *n* неизвестных:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = 0, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = 0, \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \ldots \\ x_{\text{n}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \ldots \\ 0 \end{pmatrix} \text{ или } AX = B.$$

Заметим, что ранги основной и расширенной матриц в однородной СЛАУ всегда совпадают, то есть однородная СЛАУ всегда совместна.

***Теорема* 2.4. Если в совместной системе ранг основной матрицы меньше числа неизвестных, то система имеет бесчисленное множество решений.**

1) Найдем ранг основной и расширенной матриц для однородной СЛАУ. Проверим СЛАУ на неопределенность.

2) Если СЛАУ совместна и неопределенна решим СЛАУ, например, методом Гаусса.

Решение неопределенных однородных СЛАУ называют фундаментальной системой решений.

***Пример* 2.12.** Дана СЛАУ $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 0 \\ 2x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 0 \\ 3x_1 + 3x_2 + 3x_3 = 0 \end{cases}$. Найти решение СЛАУ.

Решение: Представим СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 3 & 3 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ или } \left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 0 \\ 3 & 3 & 3 & 0 \end{array}\right).$$

1) Найдем ранг основной матрицы:

$$M_1 = |1| = 1, \text{ то } \operatorname{rang}(A) \geq 1$$

$$M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \end{vmatrix} = 0, \; M_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 3 \end{vmatrix} = 0, M_2 = \begin{vmatrix} 2 & 2 \\ 3 & 3 \end{vmatrix} = 0, \text{ то } \operatorname{rang}(A) = 1 \text{ и } \operatorname{rang}(\overline{A}) = 1.$$

СЛАУ неопределенна.

2) Найдем фундаментальную систему для однородной СЛАУ. Так как $\operatorname{rang}(\overline{A}) = 1$, требуется одна любая строчка (любое уравнение):

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 1 & 1 & 0 \end{array}\right) \sim \begin{vmatrix} x_1 = \mathrm{a} \\ x_2 = \mathrm{b} \end{vmatrix} \sim (1 \mid -\mathrm{a} - \mathrm{b}).$$

Тогда общее решение

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ -a-b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} a + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix} b; a, b \in R.$$

Классификация систем линейных алгебраических уравнений.

<table>
<tr><th colspan="5">СЛАУ</th></tr>
<tr><td colspan="2">ОДНОРОДНАЯ СЛАУ</td><td colspan="2">НЕОДНОДНАЯ СЛАУ</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">СОВМЕСТНАЯ СЛАУ</td><td colspan="2">СОВМЕСТНАЯ СЛАУ</td><td>НЕСОВМЕСТНАЯ СЛАУ</td></tr>
<tr><td>ОПРЕДЕЛЕННАЯ СЛАУ</td><td>НЕОПРЕДЕЛЕННАЯ СЛАУ</td><td>ОПРЕДЕЛЕННАЯ СЛАУ</td><td>НЕОПРЕДЕЛЕННАЯ СЛАУ</td><td>_____</td></tr>
<tr><td>ТРИВИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ</td><td>ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА</td><td>ЕДИНСТВЕННОЕ РЕШЕНИЕ</td><td>ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ</td><td>НЕТ РЕШЕНИЯ</td></tr>
</table>

2. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Вариант 1

1. Даны матрицы $A=\begin{pmatrix}2 & 0 & 1\\ 3 & -1 & 2\\ 0 & 1 & 1\end{pmatrix}$ и $B=\begin{pmatrix}3 & 1\\ -1 & 1\\ 0 & 1\end{pmatrix}$.

Найти матрицу $C=(A+3A^T)\cdot B$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix}1 & -2\\ 0 & 1\end{pmatrix}\cdot X=\begin{pmatrix}2 & 4\\ -1 & -2\end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix}-2 & 3 & 4 & 0\\ 1 & -1 & 1 & 3\\ 3 & 0 & 1 & 1\\ -3 & 2 & 1 & 0\end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases}3x_1+4x_2+2x_3=8\\ 2x_1-4x_2-3x_3=-1\\ x_1+5x_2+x_3=0\end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases}2x_1-x_2+2x_3+2x_5=6\\ x_2+x_3-2x_4+x_5=3\\ x_1-x_2+2x_3-x_4-x_5=5\\ 4x_1+x_2+4x_3-2x_4-10x_5=14\end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 2

1. Дана матрица $A=\begin{pmatrix} 3 & -1 & 1 \\ 0 & 2 & 3 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = A^2 - 3A^T$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 6 & 1 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -7 & -6 \\ 3 & 16 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & -3 & 5 & 2 \\ 1 & 0 & -3 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 4 & 1 & 2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 1 \\ 2x_1 - x_2 - 2x_3 = 9 \\ 5x_1 + 8x_2 - x_3 = 7 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1 \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - 3x_5 = -3 \\ 5x_1 + 4x_2 + 3x_3 + 3x_4 - x_5 = -1 \\ x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 6x_5 = 6 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 3

1. Дана матрица $A=\begin{pmatrix} -1 & 4 & 0 \\ 2 & 2 & 0 \\ 4 & 1 & 1 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = A \cdot A^T - 2E$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 3 & 5 \\ 5 & 9 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & -1 & 3 & 4 \\ 2 & 0 & 4 & 0 \\ 5 & 3 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 2 & 0 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 3x_1 + x_2 + x_3 = 21 \\ x_1 - 4x_2 - 2x_3 = -16 \\ 3x_1 - 5x_2 - 6x_3 = -41 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 + 3x_3 - 2x_4 + 3x_5 = 4 \\ 2x_1 + 2x_2 + 4x_3 - x_4 + 3x_5 = 6 \\ 3x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 2x_4 + 3x_5 = 6 \\ 2x_1 + 2x_2 + 8x_3 - 3x_4 + 9x_5 = 14 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

.

Вариант 4

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 0 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $C = A \cdot A^T + 2B$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 5 & -4 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ -5 & 6 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 10 & 0 & 2 & 3 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \\ 3 & 1 & 1 & 1 \\ -4 & 0 & 1 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 2x_1 - x_2 + 5x_3 = 4 \\ 5x_1 + 2x_2 + 13x_3 = 2 \\ 3x_1 - x_2 + 5x_3 = 0 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 - 2x_2 + x_3 - x_4 + x_5 = 1 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 + x_4 - 2x_5 = 1 \\ 4x_1 - 10x_2 + 5x_3 - 5x_4 + 7x_5 = 1 \\ 2x_1 - 14x_2 + 7x_3 - 7x_4 + 11x_5 = -1 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 5

1. Даны матрицы и А= $\begin{pmatrix} 3 & 1 \\ -1 & 2 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 5 & 6 \end{pmatrix}$ Найти матрицу $X = A^T \cdot A - 4B$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & -3 \\ 4 & -6 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 8 & 4 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} -3 & 2 & 1 & -1 \\ -2 & 1 & 0 & 3 \\ -1 & -1 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & -3 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 - x_3 = -2 \\ 4x_1 - 3x_2 + x_3 = 1 \\ 2x_1 + x_2 - x_3 = 1 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 + x_2 + x_3 - 2x_4 + 4x_5 = 1 \\ 13x_1 + 8x_2 + 4x_3 - 3x_4 + 6x_5 = 9 \\ 5x_1 + 4x_2 + 2x_3 - 3x_4 + 6x_5 = 3 \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 - x_4 + 2x_5 = 2 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 6

1. Дана матрица $A = \begin{pmatrix} -4 & 5 & 6 \\ -1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$. Найти матрицу C= $A^T \cdot A + 5E$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 4 & 6 \\ 6 & 8 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -6 & 4 \\ -10 & 8 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & -3 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & -1 \\ 3 & 0 & 5 & 1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 = 4 \\ 3x_1 - 5x_2 + 3x_3 = 1 \\ 2x_1 + 7x_2 - x_3 = 8 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 6x_4 + 9x_5 = 2 \\ x_2 - 2x_3 + 2x_4 + 3x_5 = -7 \\ 2x_1 + x_2 + 4x_3 + 2x_4 + 3x_5 = 3 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 4x_4 + 6x_5 = 1 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 7

1. Даны матрицы $A=\begin{pmatrix} 0 & 3 & 4 \\ -1 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & -5 \end{pmatrix}$ и $B=\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 4 & 0 \\ 2 & -3 & 1 \end{pmatrix}$

Найти матрицу $C = (2A^T - \mathrm{B}) \cdot \mathrm{A}$

2. Решить матричное уравнение $\mathrm{X} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 5 \\ 5 & 9 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 \\ 3 & 0 & 4 & 3 \\ 4 & 0 & 5 & 4 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 - x_3 = 1 \\ 8x_1 + 3x_2 - 6x_3 = 2 \\ 4x_1 + x_2 - 3x_3 = 3 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 3x_3 + x_4 + 2x_5 = 1 \\ 2x_1 - x_2 + 3x_3 + 4x_4 - x_5 = -1 \\ 5x_1 - 5x_2 + 12x_3 + 11x_4 - 4x_5 = -4 \\ x_1 - 3x_2 + 6x_3 + 3x_4 - 3x_5 = -2 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 8

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} -2 & -1 \\ 1 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 3 \\ 2 & 2 & -2 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $C = \mathrm{B} - 3A \cdot A^T$

2. Решить матричное уравнение $\mathrm{X} \cdot \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 5 & -4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ -5 & 6 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 5 & 2 & -1 & 3 \\ 0 & -2 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 5 & 6 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 3x_3 = 6 \\ 2x_1 + 3x_2 - 4x_3 = 20 \\ 3x_1 - 2x_2 - 5x_3 = 6 \end{cases}$

) матричным методом;

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - 3x_2 - 3x_3 - 4x_4 - 5x_5 = -7 \\ 6x_1 + 2x_2 + 2x_3 - x_4 = -2 \\ 3x_1 - x_2 - x_3 - 2x_4 - 3x_5 = -5 \\ 11x_1 + 3x_2 + 3x_3 + x_4 - x_5 = -5 \end{cases}$

   а) проверить, является ли система уравнений совместной;

   б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

   в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 9

1. Даны матрицы $A=\begin{pmatrix}4 & 3 & 0\\ 1 & -2 & 5\\ 6 & 0 & 2\end{pmatrix}$ и $B=\begin{pmatrix}7 & 2 & 1\\ -3 & -4 & 0\end{pmatrix}$.

Найти матрицу $C = B \cdot (A^T + 2A)$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix}1 & 3\\ 2 & 5\end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix}4 & 0 & 14\\ 5 & 2 & 22\end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix}-4 & -1 & 0 & 2\\ 0 & 3 & 1 & 0\\ 2 & 1 & -4 & 0\\ 3 & 5 & 2 & 5\end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases}4x_1 - 3x_2 + 2x_3 = 8\\ 2x_1 + 5x_2 - 3x_3 = 11\\ 5x_1 + 6x_2 - 2x_3 = 13\end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases}x_1 + x_2 - 3x_3 - x_5 = -2\\ x_1 - x_2 + 2x_3 - x_4 = 1\\ 4x_1 - 2x_2 + 6x_3 + 3x_4 - 4x_5 = 7\\ 2x_1 - 4x_2 - 2x_3 + 4x_4 - 7x_5 = 1\end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 10

1. Дана матрицы $A=\begin{pmatrix} 2 & -2 & 1 \\ 5 & 0 & 7 \\ -1 & 4 & 0 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = A^2 + 2A^T$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & 5 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -7 & 11 & 2 \\ 7 & -6 & -3 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 3 & 0 & 5 \\ 5 & 4 & -1 & 2 \\ 0 & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 4x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 1 \\ 5x_1 + 3x_2 - 2x_3 = 2 \\ 3x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 0 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 3x_2 - 2x_3 + 5x_4 - 7x_5 = 2 \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 - x_5 = 4 \\ 2x_1 - x_2 + 7x_3 - 3x_4 + 5x_5 = 6 \\ 3x_1 - 2x_2 + 7x_3 - 5x_4 + 8x_5 = 5 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 11

1. Даны матрицы $A=\begin{pmatrix} -5 & 4 & 1 \\ 0 & 7 & 2 \\ -2 & 4 & 0 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = A^T \cdot A + 3E$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 4 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 1 & 2 \\ -5 & -4 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 1 & -7 & 0 & 2 \\ 3 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 3 & 4 \\ 5 & 0 & 2 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 3x_1 + x_2 + 3x_3 = 2 \\ 5x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 1 \\ 2x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 1 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 2x_4 + x_5 = 4 \\ 3x_1 + 6x_2 + 5x_3 - 4x_4 + 3x_5 = 5 \\ x_1 + 2x_2 + 7x_3 - 4x_4 + x_5 = 11 \\ 2x_1 + 4x_2 + 2x_3 - 3x_4 + 3x_5 = 6 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 12

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -3 \\ 0 & 4 & 5 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 3 \\ 2 & 5 & 4 \\ 0 & -2 & 1 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $C = A^T \cdot A - 2B$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 4 & -3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -6 & 2 \\ 8 & -7 \\ -8 & 6 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 1 & -3 & 1 \\ 4 & 2 & -2 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 5x_1 + 2x_2 + 5x_3 = 4 \\ 3x_1 + 5x_2 - 3x_3 = -1 \\ 2x_1 + 4x_2 - 3x_3 = -1 \end{cases}$

   а) матричным методом;

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 3x_3 + 2x_5 = 2 \\ x_1 - x_2 - 3x_3 - 4x_4 - 3x_5 = -4 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 - 5x_4 + 2x_5 = 1 \\ x_1 - 2x_2 - 2x_3 - 3x_4 - 5x_5 = -7 \end{cases}$

   а) проверить, является ли система уравнений совместной;

   б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

   в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 13

1.Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 5 & 4 \\ 3 & 0 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 0 & 6 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $C = B^T \cdot A + 4E$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ -3 & 4 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 4 & -4 & 3 \\ 9 & 16 & -2 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} -1 & 1 & 2 & -4 \\ 2 & 0 & -2 & 3 \\ 3 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 5 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 7x_1 + 6x_2 + 3x_3 = 10 \\ 3x_1 + 5x_2 + 7x_3 = 1 \\ 5x_1 + 4x_2 + 3x_3 = -4 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 + 4x_2 - x_3 + 3x_4 + 2x_5 = 4 \\ 6x_1 + x_2 - 3x_3 + 9x_4 + 5x_5 = 0 \\ 6x_1 + 5x_2 - 3x_3 + 9x_4 + 7x_5 = 6 \\ 4x_1 + 7x_2 - 2x_3 + 6x_4 + 5x_5 = 8 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 14

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 5 & -6 & 0 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = A^T \cdot A + 7E$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 6 & 4 \\ 3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 & 7 \\ 9 & 4 \\ 24 & 18 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 2 & 4 & 3 \\ 5 & 3 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 3x_3 = 10 \\ 4x_1 + 3x_2 - x_3 = 3 \\ 2x_1 - 5x_2 + 3x_3 = 15 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 5x_5 = 8 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 4x_4 + x_5 = 3 \\ 3x_1 + 7x_2 + 8x_3 - 11x_4 - 3x_5 = -2 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 4x_4 + x_5 = 3 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 15

1. Дана матрица $A=\begin{pmatrix} -5 & 1 & 3 \\ 1 & -1 & 2 \\ 2 & 0 & -3 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $C = A \cdot A^T - 3A$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -4 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 & 9 \\ 4 & 7 \\ 36 & -7 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} -7 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 7 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 3 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 = 6 \\ x_1 - 2x_2 + x_3 = 9 \\ x_1 - 4x_2 - 2x_3 = 3 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - 4x_2 - 4x_3 + x_4 - 3x_5 = -3 \\ x_1 + 7x_2 + 6x_3 - 2x_4 + 6x_5 = 2 \\ 9x_1 + 8x_2 + 4x_3 - 3x_4 + 9x_5 = -7 \\ 7x_1 + 5x_2 + 2x_3 - 2x_4 + 6x_5 = -6 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 16

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} -2 & -3 \\ 1 & 4 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 3 & 3 & 1 \\ -2 & 4 & -3 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $C = 3B - A \cdot A^T$

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 3 & 6 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -4 & 5 & 7 \\ -3 & 6 & 12 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 0 & 3 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & 5 \\ 4 & 0 & 1 & -1 \\ 5 & 2 & 0 & -1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 7 \\ 2x_1 + 3x_2 + 4x_3 = 11 \\ 3x_1 + 4x_2 + x_3 = 11 \end{cases}$

   а) матричным методом;

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 - x_2 + 3x_3 + 7x_4 + 11x_5 = 8 \\ 4x_1 - 2x_2 + x_3 + 2x_4 + 2x_5 = 1 \\ 8x_1 - 4x_2 + 3x_3 + 6x_4 + 8x_5 = 5 \\ 10x_1 - 5x_2 + 5x_3 + 9x_4 + 15x_5 = 10 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 17

1. Дана матрица $A=\begin{pmatrix}0 & 3 & 1\\ 0 & 2 & 4\\ 1 & -1 & 3\end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = 3E - A\cdot A^T$

2. Решить матричное уравнение $X\cdot\begin{pmatrix}5 & 1\\ 6 & 2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-23 & -3\\ 12 & 0\\ -7 & -3\end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix}2 & 4 & 6 & 1\\ 0 & 2 & 0 & 5\\ 1 & -3 & 0 & 0\\ 2 & -1 & 1 & 4\end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases}3x_1+5x_2+2x_3=6\\ 5x_1+4x_2+5x_3=4\\ 5x_1+6x_2+4x_3=7\end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases}x_1-3x_2+x_3-x_5=-2\\ 2x_1+x_2+3x_3-3x_4=3\\ 4x_1-7x_2+5x_3-x_4-2x_5=-1\\ x_1-4x_2+x_3+x_4-x_5=-2\end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 18

1. Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $C = A \cdot B + 2E$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 5 & 1 \\ 6 & 2 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 3 & -9 & 11 \\ -2 & -6 & 14 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 3 & 0 & 7 \\ 0 & 3 & -1 & 0 \\ 4 & 2 & 1 & -2 \\ 3 & -1 & 2 & 0 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 - x_3 = 3 \\ 4x_1 + 6x_2 - x_3 = 1 \\ 2x_1 - 5x_2 + x_3 = 10 \end{cases}$

   а) матричным методом;

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 - 3x_4 + 2x_5 = 3 \\ 2x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - 3x_5 = 2 \\ x_1 + x_2 + 2x_3 + 2x_4 - 2x_5 = 4 \\ 2x_1 + 3x_2 - 5x_3 - 17x_4 + 10x_5 = -7 \end{cases}$

   а) проверить, является ли система уравнений совместной;

   б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

   в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 19

1. Дана матрица $A=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ -1 & 0 & 2\\ 3 & 1 & 2\end{pmatrix}$ и $B=\begin{pmatrix}-1 & 0 & 2\\ 3 & 1 & -1\\ -2 & 1 & 3\end{pmatrix}$.

Найти матрицу $C=(3B-A^T)\cdot B$.

2. Решить матричное уравнение $X\cdot\begin{pmatrix}4 & 3\\ 5 & 6\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}6 & 9\\ 1 & -6\\ 10 & 21\end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix}1 & 4 & 0 & -1\\ -3 & 0 & 1 & 0\\ 2 & 3 & 2 & 3\\ 3 & -1 & -2 & 1\end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases}3x_1-4x_2-x_3=-17\\ 2x_1+x_2-x_3=0\\ 2x_1-3x_2-5x_3=-8\end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases}x_1-3x_2+5x_3+4x_4+6x_5=5\\ 3x_1-x_2-x_3=1\\ 2x_1+2x_2+2x_3+2x_4+3x_5=3\\ 4x_1-4x_2-2x_4-3x_5=-1\end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 20

1.Дана матрица A= $\begin{pmatrix} -1 & 3 \\ 4 & -2 \end{pmatrix}$.

Найти матрицу $C = 3E - A \cdot A^T \cdot A$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 3 & -4 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 1 & 10 & -13 \\ 3 & -22 & 27 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 3 & 4 & 5 \\ -1 & 2 & 0 & 4 \\ 1 & 3 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 4 & 3 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 3x_3 = -3 \\ 2x_1 - 6x_2 - 9x_3 = 11 \\ 4x_1 + 3x_2 - 8x_3 = 2 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 3x_2 + 2x_3 - 2x_4 + x_5 = 5 \\ x_1 - 2x_2 + x_3 - x_4 - x_5 = -2 \\ x_1 - 4x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = -2 \\ 3x_1 - 3x_2 + 4x_3 - 2x_4 - x_5 = 1 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 21

1.Дана матрица $A = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 1 \\ -1 & 2 & -3 \end{pmatrix}$.

Найти матрицу X= $A^T \cdot A - 2E$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \cdot \mathrm{X} = \begin{pmatrix} 3 & 5 \\ 5 & 9 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} -2 & 3 & -1 & 1 \\ 0 & 5 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 5 & 7 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + 2x_3 = 9 \\ x_1 + 2x_2 - 3x_3 = 14 \\ 3x_1 + 4x_2 + x_3 = 16 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 + 3x_4 + 2x_5 = 1 \\ 2x_1 - x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 4 \\ 3x_1 - 3x_2 + 2x_3 - x_4 = 7 \\ 5x_2 - x_3 + 5x_4 + 3x_5 = -4 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 22

1.Даны матрицы $A = \begin{pmatrix} -1 & 4 \\ 2 & 1 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ -1 & 3 \end{pmatrix}$.

Найти матрицу $C = 3B - A^T \cdot A$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ 5 & -4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 2 \\ -5 & 6 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 10 & 0 & 5 & -2 \\ 1 & -3 & 2 & 1 \\ 0 & -3 & 1 & -2 \\ 0 & 3 & 0 & 2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 5x_3 = -9 \\ x_1 - x_2 + 3x_3 = 2 \\ 3x_1 - 6x_2 - x_3 = 25 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 2x_1 - x_2 + x_3 + 2x_4 + 3x_5 = 2 \\ 6x_1 - 3x_2 + 2x_3 + 4x_4 + 5x_5 = 3 \\ 6x_1 - 3x_2 + 4x_3 + 8x_4 + 13x_5 = 9 \\ 4x_1 - 2x_2 + x_3 + x_4 + 2x_5 = 1 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 23

1. Дана матрица $B = \begin{pmatrix} -4 & 5 & 6 \\ -1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $A = 3E - B^T \cdot B$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 8 & 3 \\ 4 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 & 5 \\ 24 & 11 \\ -28 & -8 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 3 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \\ -1 & 0 & 4 & 0 \\ 3 & 3 & -3 & 1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + x_3 = 2 \\ x_1 + 5x_2 - 4x_3 = -5 \\ 4x_1 + x_2 - 3x_3 = -4 \end{cases}$

   а) матричным методом;

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 2x_4 + 3x_5 = 1 \\ 3x_1 + 2x_2 + 4x_3 + x_4 + 2x_5 = 3 \\ 3x_1 + 2x_2 - 2x_3 + x_4 = -7 \\ 9x_1 + 6x_2 + x_3 + 3x_4 + 2x_5 = 2 \end{cases}$

   а) проверить, является ли система уравнений совместной;

   б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

   в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 24

1. Даны матрицы $X = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \\ 1 & -2 \end{pmatrix}$ и $Y = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{pmatrix}$.

   Найти матрицу $A = Y - 2X^T \cdot X$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 5 & -4 \\ 3 & -2 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 14 & 13 & 38 \\ 8 & 9 & 14 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 4 & -3 & 1 \\ 0 & -1 & 2 & -2 \\ -3 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 2x_1 + x_2 + 5x_3 = 1 \\ x_1 + 3x_2 + 4x_3 = -3 \\ 3x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 3 \end{cases}$

   а) матричным методом

   б) методом Крамера;

   в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + x_2 + 3x_3 - 2x_4 + 3x_5 = 1 \\ 2x_1 + 2x_2 + 4x_3 - x_4 + 3x_5 = 2 \\ 3x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 2x_4 + 3x_5 = 1 \\ 2x_1 + 2x_2 + 8x_3 - 3x_4 + 9x_5 = 6 \end{cases}$

   а) проверить, является ли система уравнений совместной;

   б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

   в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 25

1. Дана матрица $X = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 2 & 0 \\ 1 & 3 & 4 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $Y = X - 3X \cdot X^T$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 4 & 2 \\ 5 & 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 15 & 7 \\ 14 & 10 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 1 & 0 & 4 & 1 \\ -1 & 3 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 9 \\ -2 & 1 & -1 & 2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 2 \\ x_1 + 3x_2 + 2x_3 = -3 \\ 3x_1 + 10x_2 + 8x_3 = -8 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} 6x_1 + x_2 - 3x_3 + 9x_4 + 5x_5 = 0 \\ 6x_1 + 5x_2 - 3x_3 + 9x_4 + 7x_5 = 6 \\ 4x_1 + 7x_2 - 2x_3 + 6x_4 + 5x_5 = 8 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 + 3x_4 + 2x_5 = 4 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 26

1. Дана матрица A= $\begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 \\ -1 & 1 & -2 \\ 3 & 1 & 3 \end{pmatrix}$. Найти матрицу $B = 3A^T - A^2$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 8 & 9 & 8 \\ 4 & 1 & 0 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 0 & 3 & 4 & 0 \\ 0 & -2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 0 & -2 & 5 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 2x_1 + x_2 - x_3 = 1 \\ 3x_1 + 2x_2 - 2x_3 = 1 \\ x_1 - x_2 + 2x_3 = 5 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + x_3 - x_4 + x_5 = 0 \\ 2x_1 + x_2 - x_3 + 2x_4 - 3x_5 = 1 \\ 3x_1 - 2x_2 - x_3 + x_4 - 2x_5 = -1 \\ 2x_1 - 5x_2 + x_3 - 2x_4 + 2x_5 = -2 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 27

1. Дана матрица A= $\begin{pmatrix} 4 & -3 & 2 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}$. Найти матрицу X= $3E - A \cdot A^T$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 1 & -2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} -1 & 3 \\ -3 & 1 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 3 & 2 & 0 & 5 \\ -4 & 3 & 2 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & -1 & 2 & 4 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} 3x_1 - 2x_2 + x_3 = 7 \\ x_1 + 3x_2 + 2x_3 = -5 \\ 4x_1 - x_2 + 3x_3 = 6 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 2x_4 + 4x_5 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 7x_3 + x_4 + 2x_5 = 1 \\ 3x_1 + 2x_2 + x_3 + 2x_4 + 4x_5 = 4 \\ 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 6x_5 = 5 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 28

1. Даны матрицы A = $\begin{pmatrix} -1 & 2 \\ 0 & 0 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 4 & 1 & -1 \\ 3 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$. Найти матрицу C= $A \cdot A^T + 2B$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 6 & -4 \\ 3 & -1 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 4 & 18 & -2 \\ -2 & 12 & 1 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 2 \\ 2 & 0 & 3 & 3 \\ 3 & -3 & 1 & 3 \\ 4 & 0 & 0 & -3 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 6 \\ 4x_1 + 5x_2 + 6x_3 = 9 \\ 7x_1 + 8x_2 + 4x_3 = 2 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - x_2 + x_3 + x_4 - 2x_5 = 0 \\ 2x_1 + x_2 - x_3 - x_4 + x_5 = 1 \\ 3x_1 + 3x_2 - 3x_3 - 3x_4 + 4x_5 = 2 \\ 4x_1 + 5x_2 - 5x_3 - 5x_4 + 7x_5 = 3 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 29

1. Даны матрицы A = $\begin{pmatrix} -4 & 3 \\ 3 & -4 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ и $B = \begin{pmatrix} 0 & -9 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$. Найти матрицу C= $5B - A^T \cdot A$.

2. Решить матричное уравнение $X \cdot \begin{pmatrix} 5 & 2 \\ 3 & 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14 & -6 \\ 10 & 33 \\ 1 & -17 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 2 & -2 & 1 & -1 \\ 3 & 0 & 2 & 3 \\ 4 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - 3x_2 + x_3 = -11 \\ 2x_1 + x_2 - 2x_3 = -2 \\ 3x_1 + 2x_2 - x_3 = 3 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 3x_3 - 4x_4 + 2x_5 = 0 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 - x_5 = 1 \\ x_1 - x_2 + 2x_3 - 3x_4 = -1 \\ x_2 - x_3 + x_4 - 2x_5 = -1 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

Вариант 30

1. Дана матрица A= $\begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -3 & 5 & 2 \end{pmatrix}$. Найти матрицу B= $3E - A \cdot A^T$.

2. Решить матричное уравнение $\begin{pmatrix} 5 & 6 \\ -2 & -4 \end{pmatrix} \cdot X = \begin{pmatrix} 2 & -4 \\ 4 & 0 \end{pmatrix}$.

3. Вычислить определитель $\begin{vmatrix} 1 & 3 & 5 & 1 \\ -1 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 3 \end{vmatrix}$.

4. Решить систему уравнений $\begin{cases} x_1 - 3x_2 - 2x_3 = 5 \\ 3x_1 + x_2 - 2x_3 = 19 \\ 4x_1 - x_2 + x_3 = 6 \end{cases}$

а) матричным методом;

б) методом Крамера;

в) методом Гаусса.

5. Дана система линейных уравнений $\begin{cases} x_1 + 3x_2 + x_3 + 4x_4 - 4x_5 = -5 \\ 2x_1 + x_3 - 2x_4 + 2x_5 = -1 \\ 2x_1 - 6x_2 - 4x_3 - x_4 - 2x_5 = -9 \\ x_1 + 3x_2 + 4x_3 - x_4 - 3x_5 = 4 \end{cases}$

а) проверить, является ли система уравнений совместной;

б) если система уравнений совместна, то найти её общее решение;

в) найти фундаментальную систему решений соответствующей однородной системы уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Письменный Д. Т. Конспект лекций по математике. Часть 1. / Д. Т. Письменный // – М.: Изд.-во Айрис-пресс, 2015. – 281 с.

Дополнительная литература

2. Красс М. С. Математика для экономистов. / М. С. Красс, Б. П. Чупрынов // –СПб.; Питер. 2005. – 464 е.: ил. – (Серия «Учебное пособие»).
3. Сурнев В.Б. Алгебра и аналитическая геометрия :учеб. пособие /В.Б. Сурнев// Екатеринбург, УГГГА. 2003 – 656 с.



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Н. П. Жданова, Т. С. Озерова

Дифференцирование функций нескольких переменных

Методические указания и варианты контрольных и самостоятельных работ
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех
специальностей очного обучения

Екатеринбург
2019

Варианты заданий для контрольных работ и самостоятельной работы студентов всех специальностей по теме: "Дифференцирование функций нескольких переменных" содержат 30 вариантов по 7 заданий в каждом варианте, также задания могут быть использованы на практических занятиях в аудитории.

Вариант 1.

1) Найти область определения функции $z = 2 \cdot \sqrt{36 - 4x^2 - 9y^2}$ и построить линии уровней $z = 0$, $z = 3$, $z = 6$, $z = 12$.

2) Для функции $u = \frac{x \cdot y^2}{z} - y \cdot e^{2x-z}$ найти $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 u}{\partial y \partial z}$, $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z}$ в точке $M(1;-1;2)$.

3) Найти экстремумы функции $z = x \cdot \sqrt{y} - x^2 + 6x - y$.

4) Найти полный дифференциал функции $v(t,z) = \ln\left(arctg\frac{t}{z}\right)$ и вычислить его значение при $t = z = 1$, $\Delta t = 0{,}2$, $\Delta z = 0{,}1$.

5) Для функции $\omega = \cos(3u - 2v)$, где $u = 2^{tg(4x)}$, $v = \log_2(3\sqrt{x} + 2)$ найти $\frac{d\omega}{dx}$ в точке $x = 0$.

6) Найти производную $\frac{\partial z}{\partial y}$ неявной функции $z(x,y)$, заданной уравнением $\arcsin(zy) + ctg\left(\frac{\pi x}{4y}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{z} - x$ при $x = 1$, $y = 1$, $z = 0{,}5$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^3 + y^3 + z^3 - xyz - 6 = 0$ в точке $M(1;2;-1)$.

Вариант 2.

1) Найти область определения функции $z = \sqrt{x^2 + y^2 - 4} + 3\ln(2x - y^2)$.

2) Для функции $u = \sin^2(2x + 3y)$ вычислить $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - 2\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}$ в точке $M\left(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{6}\right)$.

3) Найти экстремум функции $z = x^2 + 2y^2 - 2xy + 3x - y + 5$.

4) Для функции $z = (2x+1)^{3y-2}$ составить формулу полного дифференциала.

5) Найти производную $\frac{dy}{dx}$ неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $y^2 - 4xy = 0$ и вычислить ее значение при $x = 1$, $y = 4$.

6) Найти градиент функции $u = \frac{x \cdot y^2}{z} + \frac{z \cdot y}{\sqrt[3]{x}}$ в точке $M(1;2;-1)$.

7) Для функции $u = \ln(2x - y^2)$, где $x = 3e^t$, $y = arctg\left(\frac{t}{2}\right)$ найти $\frac{du}{dt}$ и вычислить ее значение в точке $t = 0$.

Вариант 3.

1) Найти и построить область определения функции $z=\sin\left(\frac{1}{x}+\frac{5}{y}\right)$.

2) Для функции $u=ctg(\sqrt{x^3}+y)$ найти формулу полного дифференциала.

3) Найти экстремумы функции $z=xy-x^2y-xy^2$.

4) Найти производную $\frac{dy}{dx}$ неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $arctg\frac{x+2y}{3}=2x+\frac{y}{5}$ и вычислить ее значение при $x=0$, $y(0)=0$.

5) Найти полную производную $\frac{du}{dx}$, если $u=x^y$, где $y=\ln(2x)$.

6) Найти производную функции $\omega=x^2y+2y^2z+3z^2x$ в точке $M(1;1;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=M\vec{N}$, где $N(-1;4;-5)$.

7) Найти градиент функции $v=e^{xz^3-y^2}$ в точке $M(1;2;-1)$ и его величину.

Вариант 4.

1) Найти область определения функции $f(x,y)=\frac{2x-3y}{3x-y}$. Вычислить $f(1,3)$, $f(a,-a)$, $f(-a,a)$, $a\neq 0$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^3-x^2y-xy^2$.

3) Для функции $z=arctg\frac{y}{x-1}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=0$, $y=1$, $\Delta x=\Delta y=0{,}1$.

4) Найти производную $\frac{du}{dt}$ сложной функции $u=\sin(2x+y^2)$, где $x=\ln(2\sqrt{t}+1)$, $y=ctg\frac{1}{t}$.

5) Найти $\frac{dy}{dx}$ производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $2x^2+y^2-4x+6y-1=0$ и вычислить ее значение при $x=0$, $y<-2$.
, если $u=x^y$, где $y=\ln(2x)$.

6) Найти градиент функции $u=z^2e^{x-2y}+\cos\frac{\pi y}{xz^2}$ в точке $M(2;1;-1)$.

7) Вектор $\vec{l}$ составляет с осью OX угол $\alpha=30^0$, с осью OУ $0\le\beta\le 90^0$. Найти производную функции $z=x^3-3\sqrt[3]{y^2}+4\sqrt[4]{xy^3}$ в точке $M(1;1)$ по направлению $\vec{l}$.

Вариант 5.

1) Найти и построить область определения функции $f(x,y)=\frac{x^2+y^2}{\sqrt{x^2-y^2}}$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^3+y^2-6xy-39x+18y+20$.

3) Для функции $u=e^{x^2-y^2}\cdot\sin\frac{\pi}{2y}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=y=1,\ \Delta x=0{,}01,\ \Delta y=-0{,}01$.

4) Найти частные производные $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ сложной функции $z=arctg(uv)$, где $u=\cos(2x-y)$, $v=tg\frac{\sqrt{x}}{y}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к окружности $x^2+y^2-2x+4y-20=0$, где $x=4$, $y<0$. Сделать чертеж.

6) В точке $M(4;3;-12)$ вычислить модуль градиента функции $u=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$.

7) Найти производную функции $z=x^3-3x^2y+3xy^2+1$ в точке $M_1(3;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=\vec{M_1M_2}$, где $M_2(6;5)$.

Вариант 6.

1) Найти и построить область определения функции $f(x,y)=\frac{1}{\sqrt{xy}}$. Построить линии уровней $z=\frac{1}{3}$, $z=\frac{1}{2}$, $z=1$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^2+2y^2+2xy-2x+4y+15$.

3) Для функции $u=e^{xy}\cdot\sin\left(\frac{\pi x}{y}\right)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=y=1,\ \Delta x=0{,}01,\ \Delta y=-0{,}01$.

4) Найти производную $\frac{\partial v}{\partial x}$ сложной функции $v=ctg\left(\frac{y^2}{z}\right)$, где $y=\ln(5x+4u)$, $v=arctg(\sqrt{x\cdot u})$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к эллипсу $3x^2+2y^2-6x-12y+16=0$ в точке, где $x=2$, $y<3$. Сделать чертеж.

6) Найти градиент функции $u=\arccos\frac{z}{x+y}-\sqrt[3]{\frac{y}{x^2z}}$ в точке $M(1;1;1)$.

7) Найти производную функции $z=\frac{\sqrt{x}}{y}-\frac{y}{\sqrt{z}}-xyz^3$ в точке $M_1(1;-2;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-1;4;-2)$.

Вариант 7.

1) Найти и построить область определения функции $z=\sqrt{9-x^2-4y^2}$.

2) Найти экстремумы функции $z=2x^3+2y^3-36xy+430$.

3) Для функции $u=arctg\frac{x}{y}$ вычислить частные производные второго порядка и их значения в точке $M(1;-1)$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции, где $z=t-\sin t$, $y=1-\cos t$.

5) Найти частные производные неявной функции $z=f(x,y)$, заданной уравнением $z\cdot\ln(2y-x)+2^{x+2z}-\frac{8y}{\sqrt[3]{z}}=0$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2+y^2=z^2$ в точке $M_0(3;4;5)$.

6) В точке $M(4;3;-12)$ вычислить модуль градиента функции $u=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$.

7) Найти производную функции $u=xy^{\ln z}$ в точке $M_1(1;1;2)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(3;-1;1)$.

Вариант 8.

1) Найти и построить область определения функции $w=\arcsin(|y|-x)$.

2) Найти экстремумы функции $z=x^3+y^3-6xy$.

3) Для функции $u=e^x\cos(2y)$ вычислить частные производные второго порядка и их значения при $x=1$, $y=0$.

4) Для функции $z=x^3\ln y$, где $x=\frac{u}{v}$, $y=3u+2v$ найти $\frac{\partial z}{\partial u}$ и $\frac{\partial z}{\partial v}$.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $2x^2+y^2-4x+6y-1=0$ в точке, где $y=-5$, $x>0$.

6) Найти градиент функции $u=\arcsin\frac{z}{x+y}-\sqrt[3]{\frac{y}{x^2z}}$ в точке $M(1;1;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2(2-z^2)-y^2=0$ в точке $M_0(1;-1;1)$.

Вариант 9.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arccos(|x| + y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 + 2y^2 - 3x + 4y$.

3) Для функции $u = 2^{\arcsin\frac{x}{z}}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 0$, $z = 1$, $\Delta x = \Delta z = 0{,}01$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции $z = tg(2x^2 - y)$, где $x = \ln(2t)$, $y = \sqrt{t}$.

5) Найти частные производные $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;1)$ $z = f(x, y)$ - неявной функции, заданной уравнением $x\ln(2z - y) + arctg\frac{z}{y} = \frac{\pi}{2x}$.

6) Найти производную функции $u = \frac{1}{\pi}tg\frac{\pi \cdot x^2}{2y} + e^{y-2x}$ в точке $M_1(1;2)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(5;-1)$.

7) Найти градиент функции $u = \frac{2z}{\sqrt[3]{x}} + yz^3 - \sqrt{\frac{x}{y}}$ в точке $M_1(8;2;1)$. Составить уравнение поверхности уровня функции, проходящей через точку M_1.

Вариант 10.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(x^2 + y^2 - 2x)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 - xy + y^2 - 6x + 9y + 20$.

3) Для функции $u = \sqrt{y+1} \cdot \ln(x^2 + 2y)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 1$, $y = 0$, $dx = dy = 0{,}1$.

4) Найти производную $\frac{dz}{dt}$ сложной функции $z = \lg(x + y^2)$, где $x = arctg\frac{1}{t}$, $y = \sin(\pi \cdot t)$.

5) Уравнение $2x^2 + y^2 - 4x + 6y - 1 = 0$ задает неявную функцию $y(x)$. Найти производную $\frac{dy}{dx}$. Составить уравнения касательной плоскости и нормали к графику этой функции в точке, где $y = -1$, $x > 0$.

6) Найти градиент функции $u = e^{\frac{x-y}{z}} - \frac{1}{\pi}tg\frac{\pi \cdot z}{xy^2}$ в точке $M(1;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \frac{xy}{\sqrt{2z}} + \frac{z}{2x^2y} + \sqrt{\frac{2y}{z}}$ в точке $M_1(1;2;4)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-2;0;-2)$.

Вариант 11.

1) Найти и построить область определения функции $z = \frac{\ln(x+1)}{1+\ln y}$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 - xy + y^2 + 9x - 6y + 23$.

3) Для функции $z = \sin^2(2x+3y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения при $x = \frac{\pi}{4}$, $y = \frac{\pi}{6}$.

4) Для функции $z = \frac{u}{\ln v}$, где $u = \sqrt{4x - y^2}$, $v = 4 - x^2 - y^2$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к эллипсу $2x^2 + 3y^2 - 12x - 6y + 16 = 0$ в точке, где $x = 4$, $y \neq 0$.

6) Найти модуль градиента функции $u = e^{\frac{2y-x}{z}} - \frac{1}{\pi}\cos\frac{\pi \cdot z}{xy^2}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \sqrt[3]{y^2 - 4z} + arctg\frac{x-z}{y}$ в точке $M_1(1;2;-1)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-2;-4;1)$.

Вариант 12.

1) Найти область определения функции $z = \sqrt{x - y + 1} \cdot \ln(x + y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = \frac{y}{x} + \frac{1}{y} + x$.

3) Найти полный дифференциал функции $v(t,z) = \ln\left(arctg\frac{t}{z}\right)$ и вычислить его значение при $t = z = 1$, $dt = 0{,}01$, $\Delta z = -0{,}01$.

4) Для функции $z = u \cdot e^{\frac{u}{v}}$, где $u = x^2 + y^2$, $v = xy$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $x^2 + y^2 = 2x - 4y + 20$ в точке, где $x = 4$, $y > 0$.

6) Найти производную функции $u = x \cdot \arcsin\frac{z-y}{2} - \sqrt[3]{y^2 - 4z}$ в точке $M_1(-1;1;2)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(0;2;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $2x^2 + 4y^2 + 9z^2 = 21$ в точке, где $x_0 = 2$, $y_0 < 0$, $z_0 = 1$.

Вариант 13.

1) Найти и построить область определения функции $v = \arccos(x-2y)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 + y^3 + 6xy$.

3) Для функции $u = ctg(e^{y^2-x^2})$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=1$, $y=-1$, $\Delta x = \Delta y = 0{,}1$.

4) Для функции $z = arctg(xy)$, где $y = e^{2x}$ найти $\frac{dz}{dx}$.

5) Для функции, заданной уравнением $\frac{6}{\pi}\arcsin\frac{x+y}{4z} - \sqrt[3]{\frac{zx^2}{y}} = 0$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти градиент функции $u = y\cdot\ln(x+2z) + z\cdot\sqrt[3]{x^2y^3}$ в точке $M(-1;1;1)$. Найти модуль градиента.

7) Найти производную функции $u = \frac{x-y}{\sqrt[3]{z}} + \frac{x+2y}{x-z} + \sqrt[3]{\frac{xy^2}{2z}}$ в точке $M_1(2;1;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(0;-1;2)$.

Вариант 14.

1) Найти и построить область определения функции $u = \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2-4}}$.

2) Найти экстремумы функции $z = e^{-x}(x-y^2)$.

3) Вычислить приближено изменение функции $\varphi = arctg\frac{x+1}{y}$, если x изменяется от $x_1 = 0$ до $x_2 = 0{,}2$, y изменяется от $y_1 = 1$ до $y_2 = 0{,}9$

4) Для функции $z = \ln^2(u) - \ln(2v)$, где $u = tg(3x)$, $v = \sin(3x)$ найти $\frac{dz}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к окружности $x^2+y^2-2x+4y-20=0$ в точке, где $y=-6$, $x<0$.

6) Найти градиента функции $u = \frac{x}{\ln(y+z)} + \sqrt[3]{2x^2z^5}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Найти производную функции $u = \arcsin(x\sqrt{y})$ в точке $M_1\left(\frac{1}{2};1\right)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2\left(\frac{3}{2};\frac{1}{2}\right)$.

Вариант 15.

1) Найти область определения функции $z=\sqrt{x-y+2}+\ln(y-x^2)$.

2) Показать, что функция $z=x^4+y^4-2x^2-4xy-2y^2$ имеет экстремум в точке $M_0\left(\sqrt{2};\sqrt{2}\right)$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u=y\cdot e^{2(1-x)}+\cos\frac{\pi\cdot x}{2y^2}$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Для функции $z=arctg\frac{y}{x}$, где $y=\ln(2x+1)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{dz}{dx}$.

5) Уравнение $\frac{6}{\pi}\arcsin\frac{x+z}{4y}-\sqrt[3]{\frac{x^2y}{z}}=0$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти частную производную этой функции в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти производную функции $u=ye^{2y-x}+\frac{\sqrt{z}}{x+y}$ в точке $M_1(2;1;4)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(0;-2;-2)$.

7) Найти градиент функции $u=\frac{1}{\pi}\left(ctg\frac{\pi\cdot y^2}{2x}\right)^2$ в точке $M(2;1)$.

Вариант 16.

1) Найти и построить область определения функции $u=\frac{x+y}{x^2+y^2}$. Вычислить значение функции u в точке $M(1;3)$.

2) Найти экстремумы функции $z=e^{0,5x}(x+y^2)$.

3) Для функции $u=\frac{xy}{x^2+y^2}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=2$, $y=1$, $\Delta x=0{,}1$, $\Delta y=-0{,}2$.

4) Для сложной функции $z=x^2y-xy$, где $x=u\cos v$, $y=v\sin u$ найти $\frac{\partial z}{\partial u}$ и $\frac{\partial z}{\partial v}$.

5) Уравнение $\arccos\frac{x}{y}=\frac{\pi}{3}+zy-\sqrt{\frac{z}{x}}$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial y}$ при $x=\frac{1}{2}$, $y=1$, $z>0$.

6) Найти производную функции $u=\arcsin\frac{2y-x}{z}+\frac{\sqrt[3]{2x^2z}}{y^3}$ в точке $M_1(2;1;-1)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-1;-5;1)$.

7) Найти модуль градиента функции $u=\frac{2x-y}{3y+2z}$ в точке $M(-1;1;-1)$.

Вариант 17.

1) Найти область определения функции $u = \arccos\left(\frac{1}{x^2+y^2}\right)$.

2) Показать, что функция $z = 3x + 6y - x^2 - xy - y^2$ имеет экстремум в точке $M_0\left(\sqrt{2};\sqrt{2}\right)$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u = z \cdot e^{y-2x} + \frac{1}{z^2}\cos\frac{\pi \cdot x}{y}$ найти $\frac{\partial u}{\partial y}$ и $\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z}$. Вычислить их значения в точке $M(1;2;1)$.

4) Для функции $z = 2u + \sqrt{v}$, где $u = \arcsin(xy)$, $v = \ln(x^2 + 2y)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $x\ln(2y - z) + arctg\frac{y}{z} = \frac{\pi}{2x}$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;1)$.

6) Найти модуль градиента функции $u = \frac{1}{\pi} tg\left(\frac{\pi \cdot x}{y \cdot z}\right) - \frac{z - x}{y - x} + x \cdot \sqrt[3]{\frac{y}{z}}$ в точке $M(1;2;2)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к параболоиду $z = 2x^2 + 4y^2$ в точке, где $y = 1$, $z = 12$, $x < 0$.

Вариант 18.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin(|x| - |y|)$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^3 + 3y^2 - 3xy + 1{,}75$.

3) Для функции $u = \ln(x^2 + 3y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения при $x = 2$, $y = 0$.

4) Для функции $u = \frac{x^2 - y}{x^2 + y}$, где $y = arctg\frac{1}{x}$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{dz}{dx}$.

5) В точке $M(2;1)$ найти угловой коэффициент касательной к кривой $x^2 - y^2 + y = 2^{y-2} - 2^x$

6) Найти градиент функции $u = \frac{1}{\pi}\cos\frac{\pi \cdot x}{yz} \cdot e^{x+y} - \sqrt[3]{\frac{zy^2}{2x}}$ в точке $M(-1;1;2)$.

7) Найти производную функции $u = \frac{x}{y}\arcsin\frac{y}{x}$ в точке $M_1(-2;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(2;4)$.

Вариант 19.

1) Найти и построить область определения функции $u = \dfrac{\ln(x^2 - 2y)}{\sqrt{9 - x^2 - y^2}}$.

2) Найти экстремумы функции $z = 3x^2 + y^3 - 3xy$.

3) Для функции $u = \dfrac{ctg\left(2y + \dfrac{\pi}{4}\right)}{x - 1}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 3$, $y = 0$, $\Delta x = -0{,}04$, $\Delta y = 0{,}01$.

4) Для функции $z = \ln(y^2 - 2x^2)$, где $y = e^{x+1}$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{dz}{dx}$.

5) Уравнение $\arcsin\dfrac{x}{y} = \dfrac{\pi}{6} + zy - \sqrt{\dfrac{z}{x}}$ задает неявную функцию $z = f(x, y)$. Найти $\dfrac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M_0\left(\dfrac{1}{2}; 1; z_0\right)$, $z_0 > 0$.

6) Найти производную функции $u = \dfrac{x^2}{yz} - \sqrt{\dfrac{y}{2x}} + xyz^3$ в точке $M_1(1;2;-1)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-2;-4;1)$.

7) Найти градиент функции $z = x^y + y^x$ в точке $M(2;1)$.

Вариант 20.

1) Найти область определения функции $t = \log_2(\sqrt{x} - \sqrt{y})$.

2) Показать, что функция $z = x^2 - xy + y^2 + \dfrac{1}{x} + \dfrac{1}{y}$ имеет экстремум в точке $M_0(1;1)$. Выяснить тип экстремума. Найти этот экстремум.

3) Для функции $u = y \cdot e^{2(1-x)} + \cos\dfrac{\pi \cdot x}{2y^2}$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Катеты $a = 12$ (см), $b = 5$ (см) измерены с точностью $\Delta a = \Delta b = 0{,}1$ (см). Найдите гипотенузу треугольника и относительную погрешность значения гипотенузы $\left(\delta c = \dfrac{\Delta c}{c} \cdot 100\%\right)$.

4) Для функции $u = x^2 + 2y^2 + \ln(1 + y)$, где $y = \sin(3x)$ найти $\dfrac{du}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к эллипсу $2x^2 + y^2 - 4x + 6y - 1 = 0$ в точке, где $y = -1$, $x < 0$.

6) Найти градиент функции $z = arctg\sqrt{\dfrac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2}}$ в точке $M_0(\sqrt{2};1)$.

7) Найти производную функции $u = xe^{2y+z} + z \cdot \sqrt[3]{\frac{x}{y^2}}$ в точке $M_1(-1;1;2)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(4;3;14)$.

Вариант 21.

1) Найти и построить область определения функции $z = \arcsin\frac{1}{x} + \arccos\frac{1}{y}$.

2) Найти экстремумы функции $z = 3x^2 + y^3 - 6xy$.

3) Для функции $u = (x^2+2)\cdot\arcsin\frac{1}{y}$ найти частные производные второго порядка.

4) Найти производную $\frac{du}{dt}$ сложной функции $u = e^{x-3y}$, где $x = \sin(\pi \cdot t)$, $y = \sqrt[3]{t}$ и ее значение при $t = 1$.

5) Уравнение $x\ln(2y+z) + arctg\frac{z}{y} + \frac{\pi}{2x} = 0$ задает неявную функцию $z = f(x,y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;-1)$.

6) Составить уравнения касательных плоскостей к эллипсоиду $x^2 + 2y^2 + 3z^2 = 21$ в точках пересечения эллипсоида и прямой $\frac{x}{1} = \frac{y}{2} = \frac{z}{2}$.

7) Найти производную функции $z = x^2 - y^2$ в точке $M(1;1)$ в направлении вектора l_0, составляющего с осью ОУ угол $\beta = 60^0$.

Вариант 22.

1) Найти и построить область определения функции $v = \arccos(x^2 + y^2 - 2y)$. Вычислить z при $x = 0$, $y = 1$.

2) Найти экстремумы функции $z = x^2 - 2x\sqrt{y} + y - 4x$.

3) Для функции $u = \frac{5x+3y}{9x-2y}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x = 1$, $y = 2$, $\Delta x = -0{,}1$, $\Delta y = 0{,}3$.

4) Для функции $w = tg\frac{4u}{v^2}$, где $u = \arcsin(t-2z)$, $v = \ln(t^2+z^2)$ найти $\frac{\partial w}{\partial z}$.

5) Уравнение $arctg\dfrac{x+2y}{3z}-ye^{x-z}+\dfrac{1}{z}=\dfrac{\pi}{4}$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(1;1;1)$.

6) Найти модуль градиента функции $u=\dfrac{2x^2}{9}+\dfrac{3y^2}{z}-xyz$ в точке $M(1;-2;3)$.

7) Найти производную функции $u=\dfrac{z}{\sqrt[3]{x-y}}+\dfrac{1}{\ln 2}\cdot 2^{3y+z}-\sqrt{x(y^2-z)}$ в точке $M_1(2;1;-3)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(5;-5;-1)$.

Вариант 23.

1) Найти область определения функции $u=\arccos\left(\dfrac{x}{y}\right)$.

2) Найти экстремум функции $z=x^2+2y^2-xy^2+1$.

3) Для функции $u=x\ln(3x+2y)$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=1$, $y=-1$, $\Delta x=\Delta y=0{,}01$.

4) Для функции $z=u^v$, где $u=\sin(2y)$, $v=arctg\dfrac{x}{y}$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{\partial z}{\partial y}$.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $x\cdot 3^{\frac{x+1}{y}}+tg\dfrac{\pi x}{4y}-10=0$ в точке $M(1;1)$.

6) Найти производную функции $u=\sqrt{3}\arcsin\dfrac{x-y}{z}+y^2\cdot\sqrt{\dfrac{z}{x^3}}$ в точке $M_1(1;2;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-1;5;-10)$.

7) Найти градиент функции $u=\dfrac{x}{\sqrt[3]{z(2x+y)}}+3\cdot\sqrt[3]{\dfrac{y}{z}}+xyz^2$ в точке $M(1;2;-2)$.

Вариант 24.

1) Найти и построить область определения функции $z = x + 2y - \arccos(xy)$.

2) Найти экстремум функции $z = x^3 + y^2 - 3x + 2y$.

3) Для функции $u = e^{1-x} \cdot \ln(2y)$ найти частные производные второго порядка и вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Для функции $z = (u+1)^{v+1}$, где $u = \arcsin\left(\frac{x}{y}\right)$, $v = \cos(2x+3y)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $x\ln(2z+y) + arctg\frac{z}{y} + \frac{\pi}{2x} = 0$ задает неявную функцию $z = f(x,y)$. Найти $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;-1;1)$.

6) Найти производную функции $u = \sqrt{3}\arccos\frac{x-y}{z} + \frac{4}{\pi}tg\frac{\pi y}{x^2}$ в точке $M_1(2;1;2)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(5;-1;-4)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $\sin(3x)\cdot\cos y - z = 0$ в точке, где $x = y = \frac{\pi}{4}$.

Вариант 25.

1) Найти и построить область определения функции $u = \sqrt{x-1} + \sqrt[4]{y+2}$. Вычислить значение функции u в точке $M(5;-1)$.

2) Найти экстремумы функции $z = e^{0,5y}(x^2 + y)$.

3) Вычислить приближено изменение функции $z = \arcsin\frac{y}{x}$, если x изменяется от $x_1 = 5$ до $x_2 = 4{,}5$, y изменяется от $y_1 = 3$ до $y_2 = 3{,}3$

4) Для функции $z = y^{\sqrt{x}}$, где $y = \log_2(x^2 + 2x)$ найти $\frac{\partial z}{\partial x}$, $\frac{dz}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к гиперболе $x^2 - 2y^2 + 4y - 4 = 0$ в точке $M(2;2)$. Сделать чертеж.

6) Найти производную функции $u = \frac{1}{\pi}\cos\frac{\pi\cdot z}{x^2 y} + \frac{x+2y}{z+y}$ в точке $M_1(1;2;1)$ по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(3;1;-1)$.

7) Найти градиент функции $x^2 + y^2 + 4z^2 = 4$ в точке $M\left(\frac{4}{3};\frac{4}{3};\frac{1}{3}\right)$.

Вариант 26.

1) Найти и построить область определения функции $u=\dfrac{2x+y}{\cos(y-x)}$.

2) Найти экстремумы функции $z=\dfrac{x}{y}+\dfrac{1}{x}+y$.

3) Для функции $u=\cos\left(\dfrac{\pi}{2}(2x-y)\right)$ найти частные производные $\dfrac{\partial^3 u}{\partial x^3}$ и $\dfrac{\partial^3 u}{\partial x^2\partial y}$. Вычислить их значения в точке $M(1;1)$.

4) Для функции $z=u^{v+1}$, где $u=\arcsin(x+2y)$, $v=\ln(x+\sqrt[3]{y})$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{\partial z}{\partial y}$.

5) Уравнение $\dfrac{x-y}{z^2}+e^{2z+x}-x\sqrt{y}=0$ задает неявную функцию $z=f(x,y)$. Найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{\partial z}{\partial y}$ в точке $M(2;1;-1)$.

6) Найти градиент функции $u=arcctg\,\dfrac{x}{y+z}+\sqrt[3]{\dfrac{z^5}{2x^2y}}$ в точке $M(2;1;1)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $u=\dfrac{1}{\ln 2}\cdot 2^{x^2-z^2}+\dfrac{\sqrt{x}}{z}-\dfrac{2x}{\sqrt{y}}=\dfrac{1}{\ln 2}$ в точке $M_1(1;4;1)$

Вариант 27.

1) Найти и построить область определения функции $z=tg\left(y+2x+\dfrac{\pi}{4}\right)$. Вычислить z при $x=0$, $y=1$.

2) Найти экстремумы функции $z=2y^2-2y\sqrt{x}+x-4y$.

3) Для функции $z=x^2+2y^2-3xy$ найти формулы частных приращений $\Delta_x z$, $\Delta_y z$ и полного приращения. Вычислить приращения, если x изменяется от $x_1=2$ до $x_2=2{,}1$, y изменяется от $y_1=2$ до $y_2=1{,}9$.

4) Для функции $z=x^y$, где $y=e^{-x}\cdot\sin(2x)$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{dz}{dx}$.

5) Составить уравнения касательной и нормали к эллипсу $3x^2+2y^2-6x-12y+7=0$ в точке, где $x=3$, $y>3$.

6) Найти градиент функции $u=y\ln(x+2z)-\sqrt{3}\arccos\dfrac{z}{x^2+y^3}$ в точке $M_1(-1;1;1)$.

7) Найти производную функции $u=3\cdot\sqrt[3]{\dfrac{xz^2}{y-1}}+\dfrac{x+z}{2y-z}-\dfrac{x^2y}{4z^3}$ в точке $M_1(2;3;1)$ по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(4;1;2)$.

Вариант 28.

1) Найти и построить область определения функции $u = \arcsin\dfrac{y-2}{x}$.

2) Для функции $u = x^{\frac{y}{z}}$ найти $\dfrac{\partial u}{\partial x}$, $\dfrac{\partial u}{\partial y}$, $\dfrac{\partial u}{\partial z}$ при $x=2$, $y=-1$, $z=1$.

3) Найти экстремумы функции $z = e^{2x}(x + y^2 + 2y)$.

4) Высота $H = 4$(см) и образующая $L = 5$(см) конуса измерены с точностью $\Delta = 0{,}1$(см). Найти объем конуса. Найти абсолютную и относительную погрешности объема.

5) Для функции $z = \arcsin\dfrac{x}{z}$, где $z = \sqrt{x^2+1}$ найти $\dfrac{\partial u}{\partial x}$ и $\dfrac{du}{dx}$ в точке, где $x=1$.

6) Найти градиент функции $u = \sqrt{2}\cdot\arcsin\dfrac{x+2y}{x+z} + \sqrt[3]{\dfrac{2yz^2}{x}}$ в точке $M(1;-1;2)$.

7) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $x^2 + \ln(y^2+z^2) - \ln(x^2+z^2) = 1$ в точке, где $x=1$, $z=-2$, $y<0$.

Вариант 29.

1) Найти и построить область определения функции $u = \arccos\sqrt{xy}$.

2) Для функции $z = x^y$ найти $\dfrac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$, $\dfrac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$. Сравнить эти производные.

3) Найти экстремумы функции $z = \dfrac{1}{4}x^2 + \dfrac{1}{2}y^2 - xy$.

4) С помощью дифференциала найти формулу объема стекла, нужного для изготовления цилиндрического стакана с толщиной стенок и дна к, если радиус внутреннего цилиндра R, а высота внутреннего цилиндра H.

5) Найти производную неявной функции $y(x)$, заданной уравнением $\ln x + \ln y - \sqrt[3]{y} = 0$ в точке $M(e;1)$.

6) Для функции $z = \ln(2x + y^2)$, где $x = \sin(2t)$, $y = \cos^2 t$ найти $\dfrac{dz}{dt}$.

7) Найти модуль градиента функции $u = x^2 - 2y^2 + z^2 - 4x + 2z$ в точке $M_1(1;1;1)$ и производную в точке M_1 по направлению вектора $\vec{l} = M_1\vec{M}_2$, где $M_2(-1;3;0)$.

Вариант 30.

1) Найти и построить область определения функции $u=\sqrt{\dfrac{x^2-4x+y^2}{x^2+4x+y^2}}$.

2) Для функции $z=\ln\left(tg\dfrac{x}{y}\right)$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$, $\dfrac{\partial z}{\partial y}$, $\dfrac{\partial^2 z}{\partial x^2}$, $\dfrac{\partial^2 z}{\partial y\partial x}$.

3) Найти экстремум функции $z=2x^2+y^2-xy-7x+14$.

4) Для функции $u=\sqrt[3]{x+y^2}$ найти полный дифференциал и вычислить его значение при $x=2$, $y=5$, $\Delta x=0{,}1$, $\Delta y=0{,}01$.

5) Составить уравнения касательной плоскости и нормали к поверхности $xe^{2x+y}-e^{3x^2+2y}=0$ в точке $M_1(1;-1)$.

6) Для функции $z=\dfrac{u}{v}arctg(u+v)$, где $u=xy$, $v=x+y$ найти $\dfrac{\partial z}{\partial x}$ и $\dfrac{\partial z}{\partial y}$.

7) Найти градиент функции $u=\dfrac{x^2}{y}-\dfrac{4y}{z^2}+x^2z^2$ в точке $M_1(1;-1;2)$. Найти производную этой функции в точке M_1 по направлению вектора $\vec{l}=M_1\vec{M}_2$, где $M_2(3;-4;-4)$.



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Н. П. Жданова, Т. С. Озерова

КРАТНЫЕ, КРИВОЛИНЕЙНЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

Методические указания и варианты контрольных и самостоятельных работ
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех
специальностей очного обучения

Екатеринбург
2019

Ж 42

Рецензент: В. Я. Раевский, доцент, к.ф.-м.н., с.н.с. лаборатории теоретической физики ИФМ.

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры математики 16.10. 2018 г. (протокол № 134) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Жданова Н. П., Озерова Т. С.

Ж42 КРАТНЫЕ, КРИВОЛИНЕЙНЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ: методические указания и варианты контрольных и самостоятельных работ. Н. П. Жданова, Т. С. Озерова; Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 85 с.

В методических указаниях с единых позиций изложены понятия кратных криволинейных и поверхностных интегралов. Приведены решения большого количества типовых задач и варианты контрольных работ. Кратко изложены элементы теории поля.

После изучения теории и решений типовых задач, студенту рекомендуется самостоятельно решить один из вариантов контрольных работ. Все задачи снабжены ответами.

Методические указания и варианты контрольных и самостоятельных работ предназначены студентам всех специальностей очного обучения для изучения темы: «Кратные, криволинейные и поверхностные интегралы».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……4

I. КРАТНЫЕ И КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ 5
1. Понятие интеграла от скалярной функции 5
2. Основные свойства интегралов. 10
3. Вычисление интегралов. 10
3.1 Определенный интеграл. 10
3.2 Криволинейный интеграл. 10
3.3 Двойной интеграл. 11
3.4 Поверхностный интеграл второго рода. 14
3.5 Тройной интеграл. 15

II. ПРИМЕНЕНИЕ КРАТНЫХ И КРИВОЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛОВ …16
1. Длина дуги кривой. 17
2. Площадь плоской области. 17
3. Площадь поверхности 17
4. Объем тела 17
5. Масса распределенная в заданной области. 18

III. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ 19
1. Понятие поля. 19
2. Векторные линии. 20
3. Работа силового поля. Криволинейный интеграл второго рода. Циркуляция вектора вдоль замкнутого контура. 20
4. Поток вектора через поверхность. 22
4.1 Вектор площадки. 22
4.2 Понятие потока вектора через поверхность 24
4.3 Гидродинамический смысл потока вектора через поверхность. Поток жидкости через поверхность. 24
4.4 Поток вектора через плоскую кривую L. 26
4.5 Свойства и вычисление потока вектора через поверхность. 26
5. Оператор Гамильтона «набла». 29
6. Дивергенция векторного поля. 29
7. Ротор (вихрь) векторного поля. 31
8. Потенциальное векторное поле. 32
8.1 Плоское потенциальное поле. 33

IV. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ 34
1. Вычисление и применение двойного интеграла. 34
2. Вычисление и применение тройного интеграла. 45
3. Вычисление и применение поверхностного интеграла первого рода. 48
4. Вычисление и применение криволинейного интеграла. 53

V. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ 60

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 90

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания по теме «Кратные, криволинейные и поверхностные интегралы» предназначены для самостоятельной работы студентов. Методические указания удовлетворяют всем требованиям государственного образовательного стандарта по подготовке дипломированных специалистов .В методических указаниях с единых позиций изложены понятия кратных криволинейных и поверхностных интегралов. Приведены решения большого количества типовых задач и варианты контрольных и самостоятельных работ. Кратко изложены элементы теории поля.

После изучения теории и решений типовых задач, студенту рекомендуется самостоятельно решить один из вариантов контрольных работ. Все задачи снабжены ответами.

I. КРАТНЫЕ И КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

1. Понятие интеграла от скалярной функции

Пусть Q – и замкнутая ограниченная часть пространства. Это может быть отрезок $[a, b]$ оси Ox, дуга плоской или пространственной кривой, часть плоскости или кривой поверхности, трехмерная область. Пусть в каждой точке M области Q задана непрерывная функция $u=f(M)$.

1. Мысленно разобьем область Q на n элементарных частей $\Delta Q_i, i=\overline{1,n}$ и найдем геометрическую меру каждой из частей, обозначив ее тоже ΔQ_i (это длина элементарного отрезка Δx_i оси Ox или элементарной части дуги Δl_i кривой, площадь ΔS_i элементарной части плоской области или $\Delta\sigma_i$ - площадь элементарной части поверхности: Δv_i - объем элементарной части трехмерной области).

2. На каждой элементарной части ΔQ_i возьмем произвольную точку M_i и вычислим значения функции в выбранных точках $U_i=f(M_i)$.

3. Составим произведения ($U_i \cdot \Delta Q_i = F(M_i) \cdot \Delta Q_i$) и найдем сумму всех произведений:

$$f(M_1)\cdot\Delta Q_1 + f(M_2)\cdot\Delta Q_2 + \ldots + f(M_i)\cdot\Delta Q_i + \ldots + f(M_n)\cdot\Delta Q_n = \sum_{i=1}^{n} f(M_i)\cdot\Delta Q_i$$

– интегральная сумма функции $f(M)$ в области Q.

4. Назовем диаметром diam (ΔQ_i) элементарной области ΔQ_i наибольшее расстояние между точками ее границы. Из всех полученных диаметров $i=\overline{1,n}$ выберем максимальный и назовем его рангом λ данного разбиения:

$$\lambda = \max_i diam(\Delta Q_i).$$

Уменьшая ранг, составим последовательность интегральных сумм.

Если область Q имеет геометрическую меру (длину, площадь, объем) и функция $U_i=f(M_i)$ непрерывна в области Q, то при $\lambda \to 0$ существует предел последовательности интегральных сумм $\lim\limits_{\lambda\to 0}\sum\limits_{i=1}^{n} f(M_i)\Delta Q_i$, равный числу J, независимо от способа разбиения области Q на элементарные части и от выбора точек M_i на

каждой из частей. Число J называется интегралом от функции $f(M)$ по области Q и обозначается символом $\int\limits_Q f(M)dQ$, т. е. $\lim\limits_{\lambda\to 0}\sum\limits_{i=1}^{n} f(M_i)\Delta Q_i = \int\limits_Q f(M)dQ$, Q называется областью интегрирования; $f(M)$ – подынтегральной функцией, dQ – элементом геометрической меры области Q; (dx – элемент длины отрезка $[a, b]$ оси Ox; dl – элемент длины дуги плоской или пространственной кривой; ds – элемент площади плоской области; $d\sigma$ – элемент площади поверхности; dv – элемент объема).

Тип интеграла различают по типу элемента dQ:

1. Если $Q=[a, b]$ – отрезок оси Ox, получим определенный интеграл $\int\limits_a^b f(x)dx$.

2. Если $Q = \breve{A}B$ - дуга плоской кривой, получим $\int\limits_L f(M)dl = \int\limits_L f(x, y)dl.$

Если $Q = \breve{A}B = L$ – дуга пространственной кривой, то $\int\limits_L f(M)dl = \int\limits_L f(x, y, z)dl$.

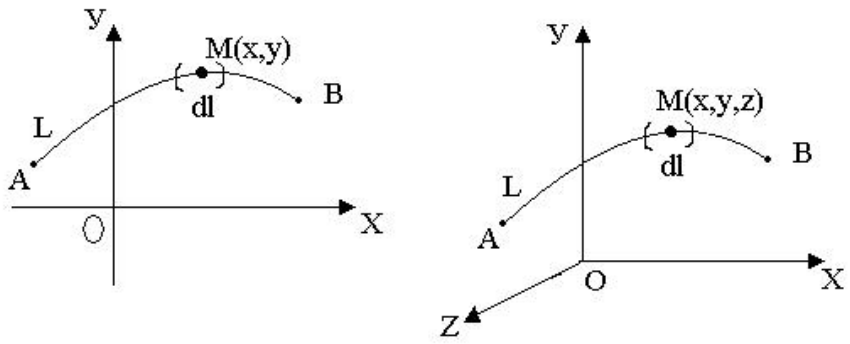


Рис. 1.1

Эти интегралы называются криволинейными интегралами первого рода или криволинейными интегралами по длине дуги кривой.

3. Q – область плоскости xOy.

$\int\limits_Q f(M)ds = \iint\limits_Q f(x, y)ds = \iint\limits_Q f(x, y)dxdy$ - двойной интеграл.

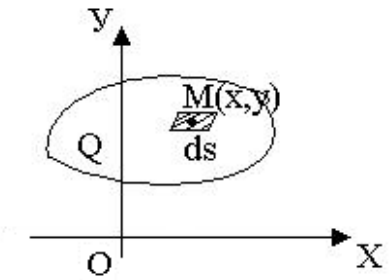


Рис. 1.2

4. Q – часть кривой поверхности

$\int\limits_Q f(M)d\sigma = \iint\limits_Q f(x,y,z)d\sigma$ - поверхностный интеграл первого рода (по площади поверхности).

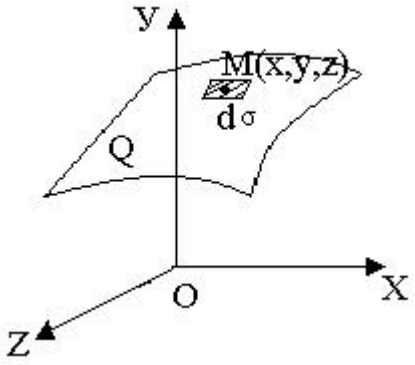


Рис. 1.3

5. Q – область в трехмерном пространстве (называется телом).

$\int\limits_Q f(M)dv = \iiint\limits_Q f(x,y,z)dv = \iiint\limits_Q f(x,y,z)dxdydz$ - тройной интеграл.

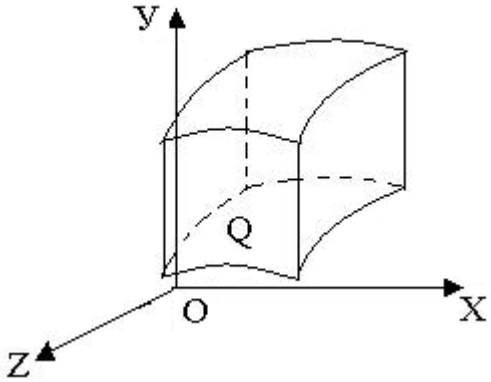


Рис. 1.4

В технических дисциплинах для обозначения интегралов используют все приведенные выше символы. Мы используем символы в правых частях равенств.

2. Основные свойства интегралов

1) $\int\limits_Q (U_1 \pm U_2)dQ = \int\limits_Q U_1 dQ \pm \int\limits_Q U_2 dQ$;

2) $\int\limits_Q AUdQ = A\int\limits_Q UdQ,$ если A=const;

3) Если Q разбить на части Q_1 и Q_2, то $\int\limits_Q UdQ = \int\limits_{Q_1} UdQ + \int\limits_{Q_2} UdQ$;

4) $\int\limits_Q dQ = Q$ - мера области Q (длина, площадь, объем).

5) Если $U_1 \le U_2$, то $\int\limits_Q U_1 dQ \le \int\limits_Q U_2 dQ$.

6) Оценка интеграла: $Q \cdot U_{\min} \le \int\limits_Q UdQ \le Q \cdot U_{\max}$, где Q – мера области Q; $U_{\min}$ и $U_{\max}$ – наименьшее и наибольшее значения функции $U=f(M)$ в области Q.

7) Средним значением функции $U=f(M)$ называют число $\overline{U} = \frac{1}{Q}\int\limits_Q UdQ$. Непрерывная функция $U=f(M)$ принимает значение $\overline{U}$ хотя бы в одной точке M_0 области Q. $U_{\min} \le \overline{U} \le U_{\max}$.

3. Вычисление интегралов

3.1. Определенный интеграл

$$\int\limits_a^b f(x)dx = F(x)\Big|_a^b = F(b) - F(a), \qquad (1)$$

где $F(x)$ – первообразная от функции $f(x)$, т. е. $F'(x) = f(x)$.

3.2. Криволинейный интеграл

Криволинейный интеграл $\int\limits_L f(x,y)dl$ или $\int\limits_L f(x,y,z)dl$ преобразуют в определенный интеграл. Для этого все переменные и дифференциалы в подынтегральном выражении заменяют из уравнений кривой через одну переменную и ее

дифференциал и вычисляют получившийся интеграл по интервалу изменения выбранной переменной на дуге *L*.

а) Если кривая задана параметрически $\begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \varphi(t), \alpha \le t \le \beta \end{cases}$,

то

$$\int_L f(x,y)dl = \int_a^b f(\varphi(t),\psi(t)) \cdot \sqrt{(\varphi'(t))^2 + (\psi'(t))^2}\, dt \qquad (2)$$

б) Если *L* – график функции *y=g(x)* и $a \le x \le b,$ то

$$\int_L f(x,y)dl = \int_a^b f(x,g(x)) \cdot \sqrt{1 + (g'(x))^2}\, dx \quad . \qquad (3)$$

в) Если *L*: $\begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \varphi(t) \\ z = \theta(t), \alpha \le t \le \beta \end{cases}$, то

$$\int_L f(x,y,z)dl = \int_a^b f(\varphi(t),\psi(t),\theta(t)) \cdot \sqrt{(\varphi'(t))^2 + (\psi'(t))^2 + (\theta'(t))^2}\, dt. \qquad (4)$$

Замечание

В определенных интегралах нижний предел нужно брать меньше верхнего.

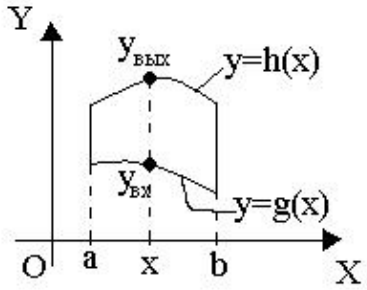
3.3. Двойной интеграл

$\iint_D f(x,y)\,ds$ приводим к двукратному интегралу.

1. Двойной интеграл в прямоугольных координатах.

Пусть область *D* ограничена прямыми *x=a; x=b; (a<b)* и графиками функций *y=g(x); y=h(x)*, причем обе функции непрерывны на отрезке [*a;b*] и, $g(x) \le h(x)$ тогда

$$\iint_D f(x,y)ds = \int_a^b \left(\int_{g(x)}^{h(x)} f(x,y)dy \right) dx. \qquad (5)$$



В правой части равенства двукратный интеграл. Очевидно, что сначала нужно вычислить «внутренний интеграл» $\int_{g(x)}^{h(x)} f(x,y)dy$. Рассматривая x как постоянную величину, получим функцию от x, затем эту функцию проинтегрировать по x в пределах от a до b. Если область D ограничена прямыми $y=a$; $y=b$ и графиками функций $x=g(y)$, $x=h(y)$, $g(y) \le h(y)$, то

$$\iint_D f(x,y)ds = \int_a^b \left(\int_{g(y)}^{h(y)} f(x,y)dx \right) dy. \qquad (6)$$

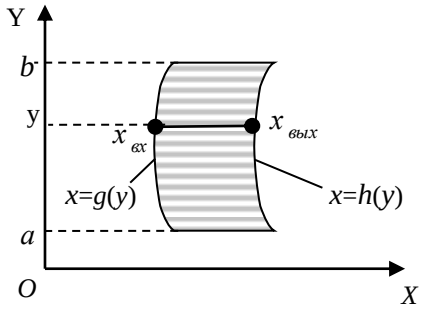


Рис. 3.2

При вычислении внутреннего интеграла в этом случае нужно считать y – постоянной величиной. Заметим, что границы «внешнего интеграла» всегда постоянны. Переход от формулы (5) к формуле (6) или от формулы (6) к формуле (5) называют изменением порядка интегрирования.

Если область D не удовлетворяет условиям формул (5) или (6), то ее разбивают на части.

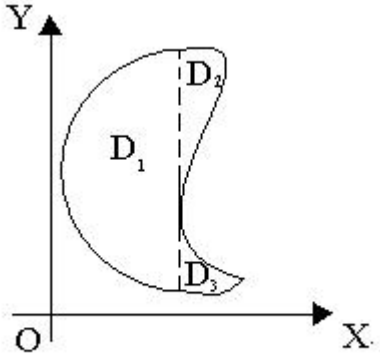


Рис. 3.3

2. Двойной интеграл в полярных координатах.

Чтобы в двойном интеграле перейти к полярным координатам нужно:

1) Совместить прямоугольную и полярную системы координат так, чтобы начало прямоугольных координат совпадало с полюсом *0*, а ось *Ox* с полярной осью *0ρ*.

2) Заменить в подынтегральном выражении *x, y* и *ds* по формулам: $x=\rho\cos\varphi$, $y=\rho\sin\varphi$, $ds=\rho d\varphi d\rho$ и получить:

$$\iint\limits_D f(x,y)ds=\iint\limits_D f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\varphi d\rho. \qquad (7)$$

3) По этим же формулам заменить *x* и *y* на ρ и φ в уравнении каждой границы области *D*, потом уравнения решить относительно ρ, получив уравнение вида $\rho=g(\varphi)$. Если в уравнении границы нет *ρ*, решить уравнение относительно *φ*, получить $\varphi=\alpha$, $\varphi=\beta$.

4) Пусть область интегрирования *D* ограничена лучами $\varphi=\alpha$, $\varphi=\beta$, $(\alpha<\beta)$ и графиками функций $\rho=g(\varphi)$, $\rho=h(\varphi)$, $g(\varphi)\le h(\varphi)$.

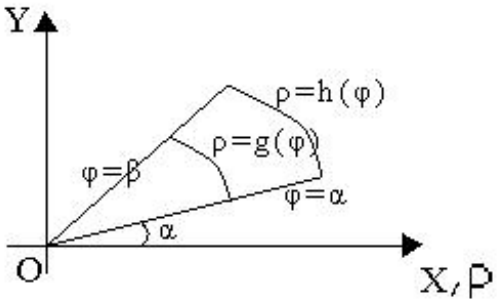


Рис. 3.4

Тогда

$$\iint\limits_D f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\varphi d\rho=\int\limits_\alpha^\beta\left(\int\limits_{g(\varphi)}^{h(\varphi)} f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\rho\right)d\varphi. \qquad (8)$$

При вычислении «внутреннего» интеграла переменная φ временно считается постоянной. В частности, если полюс принадлежит границе области, получим

$$\iint\limits_D f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\varphi d\rho=\int\limits_\alpha^\beta\left(\int\limits_0^{h(\varphi)} f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\rho\right)d\varphi. \qquad (8\ \text{а})$$

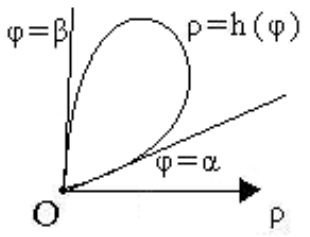


Рис. 3.5

Если полюс находится внутри области, получим:

$$\iint\limits_D f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\varphi d\rho = \int\limits_0^{2\pi}\left(\int\limits_0^{h(\varphi)} f(\rho\cos\varphi,\rho\sin\varphi)\rho d\rho\right)d\varphi \qquad (8\ б)$$

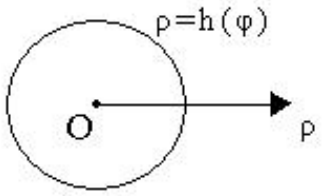


Рис. 3.6

3.4. Поверхностный интеграл первого рода

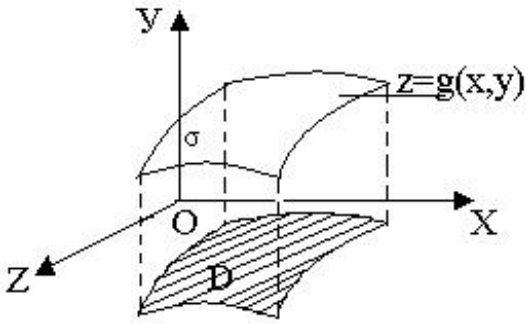


Рис. 3.7

Пусть поверхность σ задана уравнением $z=g(x,y)$. Чтобы вычислить поверхностный интеграл $\iint\limits_\sigma f(x,y,z)d\sigma$, нужно:

1) Найти проекцию поверхности σ на координатную плоскость *xOy*, получить область *D*.

2) Заменить в подынтегральном выражении z и $d\sigma$ по формулам: $z = g(x, y), d\sigma = \sqrt{1 + \left(g'_x(x, y)\right)^2 + \left(g'_y(x, y)\right)^2}\, ds$, получить и вычислить двойной интеграл по области D (в плоскости xOy):

$$\iint\limits_{\sigma} f(x, y, z)d\sigma = \iint\limits_{D} f(x, y, g(x, y)) \cdot \sqrt{1 + \left(g'_x(x, y)\right)^2 + \left(g'_y(x, y)\right)^2}\, ds\,. \qquad (9)$$

Если уравнение поверхности $x=g(y,z)$, то находят проекцию поверхности G на плоскость yOz. Если уравнение поверхности $y=g(x,z)$, то находят проекцию поверхности G на плоскость xOz.

3.5. Тройной интеграл

Вычисление тройного интеграла $\iiint\limits_{G} f(x, y, z)dv$ сводится к последовательному вычислению «внутреннего» определенного интеграла и «внешнего» двойного интеграла по области D – проекции области G на координатную плоскость.

Пусть в трехмерном пространстве $Oxyz$ область G ограничена сверху поверхностью $z=q(x,y)$, снизу – поверхностью $z=p(x,y)$, а с боков – цилиндрической поверхностью, образующие которой параллельны оси oz (эта граница может отсутствовать). Найдем D – проекцию области G на плоскость Oxy.

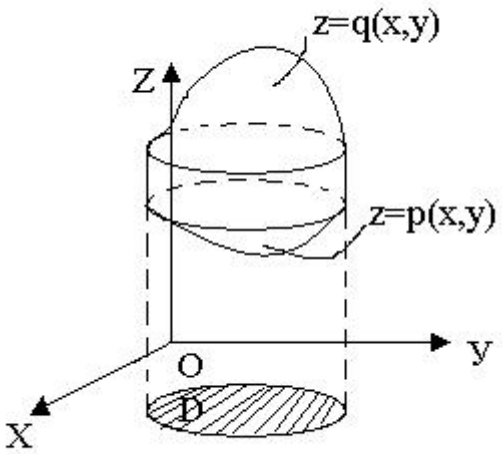


Рис. 3.8

$$\iiint_G f(x,y,z)dv = \iint_D \left(\int_{p(x,y)}^{q(x,y)} f(x,y,z)dz \right) ds \ . \qquad (10)$$

Сначала вычисляют внутренний интеграл $\int_{p(x,y)}^{q(x,y)} f(x,y,z)dz$, считая временно x и y постоянными величинами и получают функцию двух переменных x и y, потом от этой функции вычисляют «внешний» двойной интеграл, подобрав удобную для вычисления этого интеграла формулу. Иногда удобнее проецировать тело на плоскость Oxz или Oyz.

II. ПРИМЕНЕНИЕ КРАТНЫХ И КРИВОЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛОВ

С помощью интегралов можно найти величину T, связанную с некоторой областью Q и обладающую двумя свойствами:

1) При разбиении области Q на элементарные части ΔQ_i величина T тоже разбивается на элементарные части ΔT_i, причем $T = \sum_{i=1}^{n} \Delta T_i$. Такие величины называются аддитивными.

2) ΔT_i приблизительно пропорциональна мере ΔQ_i, т. е. $\Delta T_i \approx k \cdot \Delta Q_i$. Для каждого i коэффициент k постоянен и связан с ΔQ_i, т. е. $K=f(M_i)$, где $M_i \in \Delta Q_i$.

Тогда приближенные значения $T \approx \sum_{i=1}^{n} f(M_i)\Delta Q_i$ и точное значение

$$T = \lim_{\lambda \to 0} \sum_{i=1}^{n} f(M_i)\Delta Q_i = \int_Q f(M)dQ, \qquad \lambda = \max_i (diam\, \Delta Q_i).$$

Величину T, обладающую этими свойствами, можно найти проще, если взять элемент dQ области Q и найти формулу элемента dT величины T, т. е. получить $dT=f(M)dQ$, где $M \in dQ$. Тогда $T = \int_Q f(M)dQ$.

1. Длина дуги кривой

1) Если плоская кривая задана параметрически

$L:\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}, \alpha \le t \le \beta,$ то длина дуги

$$l = \int_L dl = \int_\alpha^\beta \sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2}\, dt\,. \tag{11}$$

Для пространственной кривой $L:\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t), \ \alpha \le t \le \beta, \\ z = z(t) \end{cases}$

$$l = \int_L dl = \int_\alpha^\beta \sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2 + (z'(t))^2}\, dt\,. \tag{11a}$$

2) Если плоская кривая – график функции y=g(x), $a \le x \le b$, то

$$l = \int_L dl = \int_a^b \sqrt{1 + (g'(x))^2}\, dx\,. \tag{11$б$}$$

2. Площадь плоской области

$$S = \iint_D dS\,. \tag{12}$$

В прямоугольных координатах

$$S = \iint_D dxdy. \tag{12а}$$

В полярных координатах

$$S = \iint_D \rho d\varphi d\rho\,. \tag{12б}$$

3. Площадь поверхности

$$S = \iint_\sigma d\sigma = \iint_D \sqrt{1 + \left(g_x'(x,y)\right)^2 + \left(g_y'(x,y)\right)^2}\, ds, \text{ где } \underset{oxy}{D = up\sigma}\,. \tag{13}$$

4. Объем тела

1. $V = \iiint_G dV\,.$ (14)

2. Объем цилиндрического тела с основанием на координатной плоскости *xOy*, ограниченного сверху поверхностью $z=f(x,y)$, можно вычислить с помощью двойного интеграла.

$$V = \iint_D g(x, y)ds\,. \qquad (14a)$$

5. Масса, распределенная в заданной области

Говорят, что масса непрерывно распределена в области *Q*, если каждой мысленно выделенной части ΔQ этой области соответствует значение массы Δm. При этом масса отдельно взятой точки равна нулю.

Пусть точка $M \in \Delta Q \subset Q$. Плотностью распределения массы в точке *M* области *Q* называют величину δ:

$$\delta = \lim_{\mathrm{diam}(\Delta Q)\to 0} \frac{\Delta m}{\Delta Q}\quad , \qquad (15)$$

причем ΔQ все время содержит точку *M*.

Если масса распределена на дуге кривой, получаем линейную плотность, на поверхности – поверхностную плотность, в трехмерной области – плотность. Так как масса распределена неравномерно, то плотность в точке является функцией точки $\delta=\delta(M)$.

Из определения плотности массы (15) следует, что элемент массы равен $\Delta m \approx \delta \cdot \Delta Q$ или $dm=\delta dQ$, тогда масса, распределенная в области *Q* с плотностью $\delta=\delta(M)$:

$$m = \int_Q \delta dQ = \int_Q \delta(M)dQ\,. \qquad (16)$$

Аналогично вводят понятие плотности заряда в диэлектрике, плотности энергии электромагнитного поля и др. Все эти величины находят по формуле (16). Так, если электрический заряд *q* распределен в области *Q* с плотностью заряда $\lambda=\lambda(M)$, то

$$q = \int_Q \lambda(M)dQ\,. \qquad (17)$$

Частные случаи распределения массы:

а) масса, распределенная с плотностью δ на дуге L кривой.

$$m = \int_L \delta(x, y)dl \text{ - для плоской кривой;}$$

$$m = \int_L \delta(x, y, z)dl \text{ - для пространственной кривой;} \qquad (16а)$$

б) масса, распределенная с поверхностной плотностью δ по области D:

$$m = \iint_D \delta(x, y)ds; \qquad (16б)$$

в) масса, распределенная с поверхностной плотностью δ по части σ кривой поверхности:

$$m = \iint_\sigma \delta(x, y, z)d\sigma; \qquad (16в)$$

г) масса, распределенная с плотностью δ в трехмерной области G:

$$m = \iiint_G \delta(x, y, z)dv. \qquad (16г)$$

III. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОЛЯ

1. Понятие поля

Если с каждой точкой $M \in G$ связано определенное значение величины U, то говорят, что в области G задано поле величины U.

Поле называется скалярным, если U – скаляр (температура, плотность, электрический потенциал и др.) и векторным, если U – вектор (сила, скорость, напряженность и др.).

Поле называется стационарным (установившимся), если оно не меняется с течением времени.

Поле не зависит от системы координат, введенной в области G. Рассмотрим прямоугольную систему координат, тогда задание скалярного поля равносильно заданию в области G скалярной функции $U=f(x,y,z)$ или $U=f(x,y)$, если G – область в плоскости xOy. Задание векторного поля равносильно заданию в каждой точке $M(x, y, z) \in G$ векторной функции

$$\vec{U}(M) = P(x, y, z)\,\vec{i} + Q(x, y, z)\,\vec{j} + R(x, y, z)\vec{k}.$$

Свойства скалярного поля, его линий уровня, производной по направлению и градиента рассматривались в разделе «Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных».

В этом разделе рассмотрим свойства стационарного векторного поля. В дальнейшем функции $P(x, y, z)$, $Q(x, y, z)$, $R(x, y, z)$ и их производные считаем непрерывными в области G.

2. Векторные линии

Векторной линией векторного поля называют линию, в каждой точке M которой вектор $\vec{U}(M)$ направлен по касательной к линии.

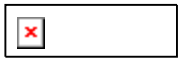
Мы не рассматриваем, как найти векторные линии.

Если $\vec{U}(M) = P(x, y, z)\vec{i} + Q(x, y, z)\vec{j} + R(x, y, z)\vec{k}$ и в каждой точке поля функции P, Q, R одновременно не обращаются в нуль и непрерывны вместе со всеми своими частными производными первого порядка, то через каждую точку поля проходит единственная векторная линия, т. е. вся область G заполнена векторными линиями. По виду векторных линий получают информацию о структуре поля. Если $\vec{U}(M)$ - стационарное поле текущей жидкости, то векторные линии являются траекториями частиц жидкости и называются линиями тока. Если $\vec{U}(M)$ - вектор силы, то векторные линии называются силовыми линиями и т. д. Множество всех векторных линий, проходящих через точки поверхности σ, образует векторную трубку.

3. Работа силового поля. Криволинейный интеграл второго рода

Циркуляция вектора вдоль замкнутого контура

Пусть в каждой точке плоскости xOy (или области D) определен вектор силы $\vec{F}(M) = P(x, y)\vec{i} + Q(x, y)\vec{j},$ образующий векторное поле. И пусть материальная точка *(m=1)* перемещается в этом поле по гладкой кривой L из начала в конец дуги L. При перемещении материальной точки сила $\vec{F}$ производит работу A.

Возьмем на дуге L произвольную точку M. При бесконечно малом перемещении  из точки M по дуге кривой силу можно считать постоянной и равной $\vec{F}(M)$, поэтому соответствующая элементарная работа равна скалярному произведению $dA = \vec{F}(M) \cdot d\vec{r} = P(x,y)dx + Q(x,y)dy$. Суммируя элементарные работы, получаем общую работу, производимую силой $\vec{F}$, когда материальная точка проходит путь L:

$$A = \int_L dA = \int_L \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_L P(x,y)dx + Q(x,y)dy. \qquad (18)$$

Полученный интеграл от векторной функции $\vec{F}(M)$ по кривой L называется криволинейным интегралом второго рода или криволинейным интегралом по координатам. Чтобы вычислить интеграл, нужно задать поле $\vec{F}(M)$, уравнение дуги кривой L и указать направление движения по кривой L (начало и конец пути).

Для вычисления интеграла $\int_L P(x,y)dx + Q(x,y)dy$ все переменные и дифференциалы в подынтегральном выражении заменяют из уравнения кривой через одну переменную и ее дифференциал. Находят интервал изменения выбранной переменной на дуге L и вычисляют полученный определенный интеграл.

Если L задана параметрически $\begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \psi(t) \end{cases}$ и t изменяется от α до β

(α соответствует началу пути интегрирования, β – концу), то

$$\int_L P(x,y)dx + Q(x,y)dy = \int_\alpha^\beta (P(\varphi(t),\psi(t))\varphi'(t) + Q(\varphi(t),\psi(t))\psi'(t))dt). \qquad (18а)$$

Если L – график функции $y=f(x)$ и x изменяется от a до b, то

$$\int_L P(x,y)dx + Q(x,y)dy = \int_a^b (P(x, f(x)) + Q(x, f(x))f'(x))dx. \qquad (18б)$$

При изменении направления движения по L интеграл изменяет только знак (другие свойства интеграла в разделе I). Если поле $\vec{F}(M)$ и L заданы в трехмерном пространстве, получим:

$$A = \int_L dA = \int_L \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_L P(x,y,z)dx + Q(x,y,z)dy + R(x,y,z)dz, \qquad (19)$$

который вычисляется по тому же правилу.

Если $\vec{U}(M) = P(x,y,z)\vec{i} + Q(x,y,z)\vec{j} + R(x,y,z)\vec{k}$ - произвольное векторное поле, а L – замкнутый контур, то интеграл

$$\oint_L \vec{U}(M) \cdot d\vec{r} = \oint_L P(x,y,z)dx + Q(x,y,z)dy + R(x,y,z)dz \qquad (20)$$

называется циркуляцией векторного поля $\vec{U}(M)$ или циркуляцией вектора $\vec{U}(M)$ вдоль замкнутого контура L.

Циркуляция вектора – величина скалярная, положительная, отрицательная или равная нулю.

4. Поток вектора через поверхность

4.1. Вектор площадки

Двусторонняя поверхность в пространстве называется ориентированной, если указано, какая ее сторона считается наружной, а какая внутренней. Можно рассматривать разные способы ориентации, например:



Рис. 4.1

Часто при рассмотрении элементарной части, содержащей точку *M* ориентированной поверхности, важна только площадь этой части, а ее форма (круг, прямоугольник и т. д.) не играет никакой роли. Тогда эту часть поверхности изображают нормальным вектором поверхности, направленным от внутренней стороны поверхности к внешней, модуль, которого равен площади этой элементарной части поверхности.

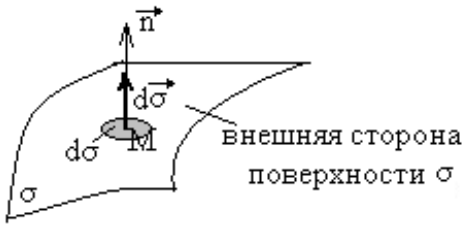


Рис. 4.2

Такой вектор называют вектором площадки (или векторной площадью площадки) в точке *M*. Если площадь выбранной площадки равна $d\sigma$, то вектор обозначают $d\vec{\sigma}$. Если найден единичный вектор внешней нормали поверхности $\bar{n} = (\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma)$, то вектор площадки

$$d\bar{\sigma} = \bar{n} \cdot d\sigma = \left(\bar{i}\cos\alpha + \bar{j}\cos\beta + \bar{k}\cos\gamma\right)d\sigma. \qquad (21)$$

В частности, dl - вектор кривой в точке *M* направлен по нормали к кривой в выбранную сторону, причем модуль вектора равен дифференциалу длины дуги кривой $dl = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$. Так как вектор $\vec{dr} = (dx, dy)$ направлен по касательной к кривой и в точке *M*(*x*,*y*) и модуль $\left|\vec{dr}\right| = dl$, то вектор кривой $\vec{dl}$ можно взять равным $\vec{dl} = (dy, -dx)$ или $\vec{dl} = (-dy, dx)$, потому что в этом случае скалярное произведение $\left(\vec{dr}, \vec{dl}\right) = 0$, значит $\vec{dl} \perp \vec{dr}$, т. е. $\vec{dl}$ направлен по нормали к кривой *L* и $\left|\vec{dl}\right| = \sqrt{(\pm dy)^2 + (\mp dx)^2} = \sqrt{(dy)^2 + (dx)^2} = dl$.

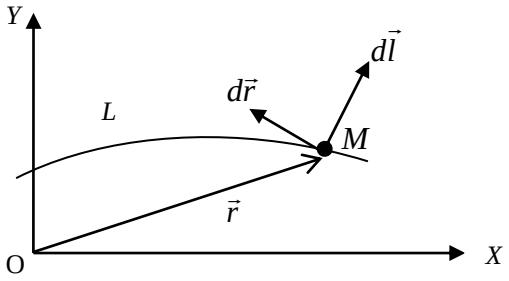


Рис. 4.3

4.2. Понятие потока вектора через поверхность

Пусть в области G задано векторное поле $\vec{U}(M)$ и ориентированная гладкая поверхность σ. Потоком векторного поля $\vec{U}(M)$ через поверхность σ называют скалярную величину, равную поверхностному интегралу

$$\Pi_\sigma(U) = \iint\limits_\sigma (u \cdot n)\, d\sigma = \iint\limits_\sigma u \cdot d\vec{\sigma}. \qquad (22)$$

где $\vec{n}$ - единичный вектор внешней нормали; $d\vec{\sigma}$ - вектор элементарной площадки поверхности σ.

Если ориентацию поверхности изменить на противоположную, то поток изменит только знак.

Часто поток рассматривают как «количество векторных линий», пересекающих поверхность изнутри наружу. «Количество» (в кавычках, так как число не целое) понимают в алгебраическом смысле, т. е., если одна часть σ пересекается векторными линиями изнутри наружу, а другая часть – снаружи внутрь, то «количество» может быть положительным, отрицательным или равным нулю.

4.3. Гидродинамический смысл потока вектора через поверхность

Поток жидкости через поверхность

Рассмотрим стационарное течение несжимаемой жидкости (или газа) в области G. В любой точке $M \in G$ скорость частицы жидкости имеет определённое значение $\vec{V} = \vec{V}(M)$, т. е. в области G задано векторное поле скоростей. Поме-

стим в область G гладкую ориентированную поверхность σ и найдем объем жидкости, протекающей через поверхность σ за единицу времени изнутри наружу. Возьмем на поверхности σ элемент $d\sigma$, содержащий точку M и найдем элемент объема жидкости, протекающей через $d\sigma$ изнутри наружу за единицу времени. Он равен объему косого цилиндра с основанием $d\sigma$ и образующей $\left|\vec{V}(M)\right|$.

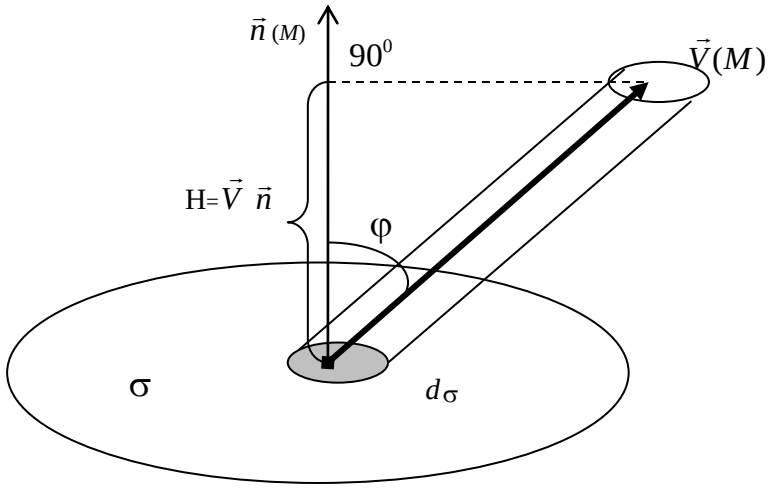


Рис. 4.4

Высота цилиндра равна проекции вектора скорости $\vec{V}(M)$ на единичный вектор внешней нормали $\vec{n}(M)$, т. е. $H = \left|V\right|\cos\varphi = \left|V\right|\cdot\left|n\right|\cos\varphi = V\cdot n$ – скалярному произведению векторов.

Тогда объем цилиндра равен $dV = Hd\sigma = \left(V\cdot n\right)\cdot d\sigma = V\cdot(n\cdot d\sigma) = V\cdot d\sigma$, т. е. элементарный объем жидкости равен скалярному произведению вектора скорости $\vec{V}(M)$ на вектор площадки $d\sigma$. Суммируя элементарные объемы жидкости для всех элементов поверхности σ, получим, что за единицу времени через всю поверхность σ изнутри наружу проходит объем жидкости, равный поверхностному интегралу

$$\iint\limits_{\sigma}(\vec{v}\cdot\vec{n})d\sigma = \iint\limits_{\sigma}\vec{v}\cdot\overrightarrow{ds} = \Pi_{\sigma}(\vec{v}),$$

т. е. равный потоку вектора $\vec{v}$ через поверхность σ.

4.4. Поток вектора через плоскую кривую *L*

Пусть на плоскости *xOy* задано векторное поле $\vec{U}(M) = P(x,y)\vec{i} + Q(x,y)\vec{j}$ и ориентированная дуга L гладкой кривой. Возьмем нормальный вектор кривой $\vec{dl} = (-dy, dx)$, составляющий острый угол с Oy при возрастании x вдоль кривой и будем считать это направление внешней нормалью. Скалярное произведение

$\vec{U} \cdot \vec{dl} = P(x,y)(-dy) + Q(x,y)(dx) = Q(x,y)dx - P(x,y)dy$, тогда

$\Pi_L(\vec{U}) = \int_L \vec{U} \cdot \vec{dl} = \int_L Q(x,y)dx - P(x,y)dy$ - поток вектора $\vec{U}$ через плоскую кривую L.

4.5. Свойства и вычисление потока вектора через поверхность

Свойства

1) Если изменить ориентацию поверхности, то поток изменит только знак

$$\Pi_{\sigma_+}(u) = -\Pi_{\sigma_-}(u),$$

где σ_+ и σ_- - разные стороны поверхности σ.

2) Если поверхность σ состоит из частей σ_1 и σ_2, то

$$\Pi_{\sigma}(u) = \Pi_{\sigma_1}(u) + \Pi_{\sigma_2}(u).$$

3) Если $\vec{u} = c_1\vec{u_1} + c_2\vec{u_2}$,

то

$\Pi_{\sigma}(u) = C_1\Pi_{\sigma}(u_1) + C_2\Pi_{\sigma}(u_2)$ - свойство линейности потока.

Вычисление потока

Первый способ:

1. Найти проекцию поверхности σ на плоскость *xOy* – получить область *D*.

2. Найти единичный нормальный вектор поверхности σ. Для этого записать уравнение поверхности в виде $F(x, y, z)=0$. Найти $\text{grad}F = F'_x i + F'_y j + F'_z k$. Найти $\left|\text{grad}F\right| = \sqrt{(F'_x)^2 + (F'_y)^2 + (F'_z)^2}$. Так как $\text{grad}F$ направлен по нормали к поверхности σ, то единичный вектор нормали

$$\bar{n} = \pm \frac{\operatorname{grad} F}{|\operatorname{grad} F|} = \pm \frac{F'_x \bar{i} + F'_y \bar{j} + F'_z \bar{k}}{\sqrt{(F'_x)^2 + (F'_y)^2 + (F'_z)^2}}.$$

Знак + или – выбираем в зависимости от заданной стороны поверхности.

3. Найти $d\sigma$.

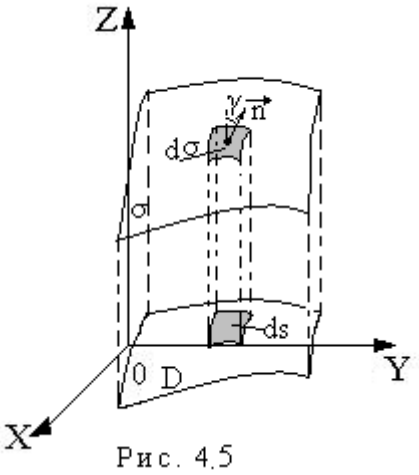


Рис. 4.5

Угол между $\vec{n}$ и осью Oz равен γ. Если считать, что в пределах площадки $d\sigma$ направление $\vec{n}$ не меняется, то угол наклона площадки $d\sigma$ к плоскости xOy (площадке ds) тоже равен γ, тогда площади этих площадок связаны соотношением

$$ds = \cos\gamma \cdot d\sigma \text{ и } d\sigma = \frac{ds}{\cos\gamma}.$$

Вектор $\bar{n} = \cos\alpha \bar{i} + \cos\beta \bar{j} + \cos\gamma \bar{k}$,

поэтому $$\cos\gamma = \pm \frac{F'_z}{\sqrt{(F'_x)^2 + (F'_y)^2 + (F'_z)^2}}.$$

Тогда $$d\sigma = \frac{\sqrt{(F'_x)^2 + (F'_y)^2 + (F'_z)^2}}{|F'_z|} ds.$$

4. Уравнение поверхности σ записать в виде $z=z(x,y)$.

5. Вычислить $\Pi_\sigma(\bar{u}) = \iint\limits_\sigma (\bar{u} \cdot \bar{n}) d\sigma = \iint\limits_D \left(\left. \frac{u \cdot n}{|\cos\gamma|} \right|_{z=z(x,y)} \right) \cdot ds$, подставив все найденные величины в двойной интеграл по области D и вычислив полученный интеграл.

Замечание

В случае замкнутой поверхности σ, $\vec{n}$ - вектор внешней нормали.

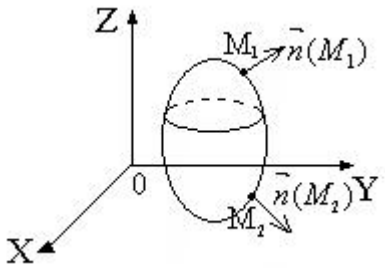


Рис. 4.6

Второй способ:

Пусть $\bar{u} = P(x,y,z)\bar{i} + Q(x,y,z)\bar{j} + R(x,y,z)\bar{k}$

$$\bar{n} = \bar{i}\cos\alpha + \bar{j}\cos\beta + \bar{k}\cos\gamma$$

$$\bar{u}\cdot\bar{n} = P(x,y,z)\cos\alpha + Q(x,y,z)\cos\beta + R(x,y,z)\cos\gamma$$

Элемент площади ds в плоскости xOy равен $dxdy$, в плоскости xOz - $dxdz$ и в плоскости yOz - $dydz$.

Мы показали, что при проецировании поверхности σ на плоскость xOy $ds = \cos\gamma \cdot d\sigma$, т. е. $\cos\gamma d\sigma = dxdy$. (Смотри пункт 3 первого способа вычисления потока).

Тогда при проецировании поверхности σ на плоскость xOz $\cos\beta d\sigma = dxdz$, а на плоскость yOz $\cos\alpha d\sigma = dydz$.

Поток вектора $\vec{u}$ через поверхность σ равен

$$\Pi_\sigma(u) = \iint_\sigma \bar{u}\cdot\bar{n}d\sigma = \iint_\sigma \left(P(x,y,z)\cos\alpha + Q(x,y,z)\cos\beta + R(x,y,z)\cos\gamma\right)d\sigma = \\ = \iint_\sigma \left(P(x,y,z)dydz + Q(x,y,z)dxdz + R(x,y,z)dxdy\right). \qquad (23)$$

Полученный интеграл

$$\iint_\sigma P(x,y,z)dydz + Q(x,y,z)dxdz + R(x,y,z)dxdy.$$

называется поверхностным интегралом второго типа (по координатам).

Предположим, что уравнение поверхности σ можно решить относительно всех переменных

$$\sigma : \Phi(x,y,z) = 0 \Leftrightarrow \begin{bmatrix} x = \varphi(y,z) \\ y = \psi(x,z) \\ z = \eta(x,y) \end{bmatrix}$$

Обозначим проекцию поверхности σ на плоскость xOy через σ_{xy}, на плоскость xOz через σ_{xz} и на плоскость yOz через σ_{yz}. Тогда поверхностный интеграл второго типа приводится к сумме двойных интегралов:

$$\iint_{\sigma} P(x,y,z)dydz + Q(x,y,z)dxdz + R(x,y,z)dxdy = \iint_{\sigma_{yz}} P(\varphi(y,z),y,z)dydz + \\ + \iint_{\sigma_{xz}} Q(x,\psi(x,z),z)dxdz + \iint_{\sigma_{xy}} R(x,y,\eta(x,y))dxdy. \qquad (24)$$

Замечание

Поток вектора $\vec{u}(M)$ через кривую L равен криволинейному интегралу по координатам

$$\Pi_L(\vec{u}) = \int_L Q(x,y)dx - P(x,y)dy. \qquad (25)$$

5. Оператор Гамильтона «набла»

Английский математик Гамильтон (1805-1865) ввел векторно-дифференциальный оператор $\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}$, называемый «набла» (по-гречески – арфа, форму которой напоминает значок ∇). Набла действует только на множитель, который стоит непосредственно за ним. Если $u=f(x, y, z)$ скалярная функция (скалярное поле), то произведение вектора ∇ на скаляр u:

$$\nabla u = \vec{i}\frac{\partial u}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial u}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial u}{\partial z} = gradu \text{ - вектор.}$$

Если $\vec{u} = P\vec{i} + Q\vec{j} + R\vec{k}$ - векторная функция (векторное поле), то скалярное произведение вектора ∇ на вектор $\vec{u}$ равно сумме произведений одноименных координат векторов $\nabla\vec{u} = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}$ - скаляр, а векторное произведение ∇ на $\vec{u}$:

$$\nabla \times \vec{u} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} = \vec{i}\left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right) - \vec{j}\left(\frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial z}\right) + \vec{k}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right) \quad \text{- вектор.}$$

С помощью ∇ проще записать некоторые понятия, связанные с полями, и операции над ними.

6. Дивергенция векторного поля

Пусть в трехмерном пространстве (или в области G) определено векторное поле $\vec{U}(M)$. Возьмем произвольную точку M и окружим замкнутой поверхно-

стью σ. Вычислим поток $\Pi_\sigma(\vec{U})$ векторного поля через поверхность σ. Найдем объем v области, ограниченной σ. Дивергенцией (расходимостью) $div\vec{U}(M)$ векторного поля $\vec{U}(M)$ в точке M называется предел отношения потока $\Pi_\sigma(\vec{U})$ векторного поля через замкнутую поверхность σ к объему области, ограниченной σ, вычисленный при условии, что поверхность σ стягивается в точку M:

$$div\vec{U}(M) = \lim_{\substack{v\to 0 \\ (\sigma\to M)}} \frac{\Pi_\sigma(U)}{V} = \lim_{\substack{v\to 0 \\ (\sigma\to M)}} \frac{1}{v}\iint_\sigma u\cdot d\sigma\cdot \qquad (26)$$

Если в пространстве введена прямоугольная система координат $Oxyz$ и

$$\vec{U}(M) = P(x,y,z)\,\vec{i} + Q(x,y,z)\,j + R(x,y,z)\,k,$$

то

$$div\vec{U}(M) = \nabla U = \frac{\partial P(x,y,z)}{\partial x} + \frac{\partial Q(x,y,z)}{\partial y} + \frac{\partial R(x,y,z)}{\partial z}$$

пишут

$$div\vec{U}(M) = \nabla U = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}\cdot \qquad (27)$$

Ранее мы говорили, что все эти частные производные существуют. Используя гидродинамическую интерпретацию, считаем поле $\vec{U}(M)$ стационарным полем скоростей несжимаемой текущей жидкости. Это течение может быть обусловлено наличием источников – точек, производящих жидкость, и стоков – точек, поглощающих жидкость. Величина $\Pi_\sigma(U)$ дает объем жидкости, протекающей в единицу времени с внутренней стороны σ на внешнюю. Но эта величина равна количеству жидкости, вырабатываемой всеми источниками, находящимися в области, ограниченной σ, т. е. равна суммарной мощности всех источников внутри σ. Тогда предел отношения мощности источников в области к объему области, найденный при условии, что область стягивается (сжимается) в точку M, равен плотности мощности источников жидкости в этой точке.

Итак, в гидродинамической интерпретации дивергенция $div\vec{U}(M)$ векторного поля $\vec{U}(M)$ в точке M – это плотность мощности источников жидкости в этой точке.

Есть и другие интерпретации. Так, в электрическом векторном поле напряженности, созданном электрическими зарядами, распределенными в пространстве, дивергенция вектора напряженности является плотностью распределения электрических зарядов в данной точке поля.

7. Ротор (вихрь) векторного поля

Пусть в пространстве (или в области G) определена прямоугольная система координат и задано векторное поле:

$$\vec{u}(M) = P(x,y,z)\,\vec{i} + Q(x,y,z)\,\vec{j} + R(x,y,z)\,\vec{k}\,.$$

Ротором $rot\vec{u}(M)$ поля $\vec{u}$ в точке M называют вектор

$$rot\vec{u}(M) = \nabla \times \vec{u} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} = \vec{i}\left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right) - \vec{j}\left(\frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial z}\right) + \vec{k}\left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right) \qquad (28)$$

Этот вектор характеризует завихренность поля в точке M (тенденцию к вращению). Проведем через точку M плоскость Г, ее ориентацию в пространстве зададим единичным нормальным вектором $\vec{n}$ в точке M.

В плоскости Г возьмем замкнутую кривую L, обходящую точку M, и выберем направление обхода L таким, чтобы с конца $\vec{n}$ обход казался происходящим против движения часовой стрелки.

Обозначим площадь, ограниченную контуром L, через ΔS. Найдем циркуляцию векторного поля $\vec{u}(M)$ вдоль контура L: $Ц_L(\vec{u}) = \oint_L \vec{u}\cdot\vec{dr}$.

Доказывается, что проекция ротора поля $\vec{u}(M)$ в точке M на вектор $\vec{n}$ равна пределу отношения циркуляции поля по контуру L к площади ΔS, ограниченной контуром, при условии, что контур L стягивается в точку M, а $\Delta S \to 0$.

$$np_n\left(rot\vec{u}(M)\right) = \lim_{\substack{\Delta S \to 0 \\ (L \to M)}} \frac{1}{\Delta S} \oint_L \vec{u}\cdot\vec{dr} \qquad (29)$$

8. Потенциальное векторное поле

Векторное поле $\vec{U}(M)$, заданное в односвязной области G, называется потенциальным, если существует такая скалярная функция $f(M)$, что во всех точках $M \in G$ вектор

$$\vec{U}(M) = \text{grad} f(M) \tag{30}$$

В этом случае функция $f(M)=f(x, y, z)$ называется потенциалом векторного поля $\vec{U}(M)$. (Для силовых полей $f(M)$ называется силовой функцией, потенциалом называется $(-1)f(M)=-f(M)$.

Теорема **(признак потенциального поля)**

Для того чтобы векторное поле $\vec{U}(M)$ было потенциальным в односвязной области G, необходимо и достаточно, чтобы в каждой точке M этой области $rot\vec{U}(M) = 0$.

Необходимость можно формально рассмотреть: $rot\vec{U}(M) = rot(gradf) = \nabla \times (\nabla f)$. «Векторы» ∇ и ∇f коллинеарны, следовательно, их векторное произведение равно нулю:

$$rot\vec{U} = 0 \tag{31}$$

Пусть $\vec{U}(M) = P(M)\vec{i} + Q(M)\vec{j} + R(M)\vec{k}$,

$$rot\vec{U}(M) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z}\right)\vec{i} - \left(\frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial z}\right)\vec{j} + \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y}\right)\vec{k}.$$

Получим, что поле $\vec{U}(M)$ является потенциальным в том и только в том случае, когда

$$\frac{\partial R}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial z}, \quad \frac{\partial R}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial z}, \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial y}. \tag{32}$$

8.1. Плоское потенциальное поле

Если поле плоское, т. е. $\vec{U}(M) = P(x,y)\vec{i} + Q(x,y)\vec{j}$

$$rot\vec{U}(M) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ P & Q & 0 \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) \vec{k} \qquad (33)$$

- поле называется потенциальным при $\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial y}$.

В этом случае $\vec{U} = gradf(x,y) = f'_x(x,y)\vec{i} + f'_y(x,y)\vec{j}$, т.е. $P(x,y) = f'_x(x,y),\ Q(x,y) = f'_y(x,y)$ и

$$\int_{AB} P(x,y)\,dx + Q(x,y)\,dx = \int_{AB} f'_x(x,y)\,dx + f'_y(x,y)\,dx = \int_{AB} df(x,y) = f(x,y)\Big|_A^B = f(B) - f(A)$$

для всех дуг, натянутых между точками A и B.

Получили, что при $\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial P}{\partial y}$ криволинейный интеграл не зависит от пути интегрирования. Работа силы $\vec{U} = \vec{F}$ не зависит от пути, по которому движется точка. Тогда криволинейный интеграл по любому замкнутому контуру в заданной области равен нулю:

$$\int_L P(x,y)\vec{i} + Q(x,y)\vec{j} = 0, \qquad (34)$$

т. е. циркуляция поля вдоль любого замкнутого контура равна нулю $Ц_L\left(\vec{U}\right) = 0$.

Потенциал плоского поля $\vec{U}(M) = P(x,y)\vec{i} + Q(x,y)\vec{j}$ находят по формуле

$$f(x,y) + c = \int_{\overset{\cup}{M_0 M}} P(x,y)dx + Q(x,y)dy, \qquad (35)$$

где $M(x,y)$, $M_0(x_0,y_0)$ взяты произвольно. Удобнее всего за дугу $\overset{\cup}{M_0 M}$ брать двузвенную ломаную линию, звенья которой параллельны осям координат, так как на вертикальном звене $dx = 0$, а на горизонтальном $dy = 0$.

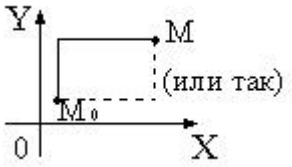


Рис. 8.1

$$f(x,y)+c=\int_{y_0}^{y} Q(x_0,y)dy+\int_{x_0}^{x} P(x,y_0)dx \qquad (36)$$

$$f(x,y)+c=\int_{x_0}^{x} P\left(x,y_0\right)dx+\int_{y_0}^{y} Q\left(x,y_0\right)dx$$

IV. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

1. Вычисление и применение двойного интеграла

При решении этих задач используйте следующую схему:

1) сделать чертеж;
2) выбрать подходящие формулы (по условию задачи и по чертежу);
3) найти все элементы выбранных формул;
4) вычислить получившийся повторный интеграл.

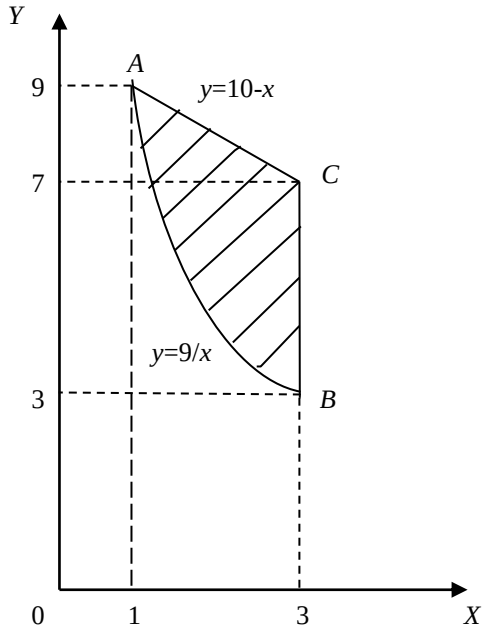
Пример 1

Вычислить $\iint\limits_D (2x+y)dS$, если D: $\begin{cases} 1 \le x \le 3 \\ \dfrac{9}{x} \le y \le 10-x \end{cases}$

Изменить порядок интегрирования в полученном повторном интеграле и еще раз вычислить интеграл

Решение

Построим чертеж:



Уравнения границ области $D: x=1, x=3, y=\frac{9}{x}, y=10-x$ (каждое неравенство, задающее *D*, превращаем в уравнение).

Для вычисления выберем формулу

$$\iint\limits_D f(x,y)dS = \int\limits_a^b \left(\int\limits_{g(x)}^{h(x)} f(x,y)dy \right) dx.$$

Найдем элементы формулы.

Так как область расположена между прямыми $x = 1$ и $x = 3$, то $a = 1$, $b = 3$. Нижняя граница области – дуга $\overset{\cup}{AB}$ задана уравнением $y=\frac{9}{x}$, следовательно, $g(x)=\frac{9}{x}$. Верхняя граница – прямая *AC* задана уравнением $y = 10 - x$, следовательно, $h(x) = 10 - x$. Получим повторный интеграл.

$$\iint\limits_D (2x+y)dS = \int\limits_1^3 \left(\int\limits_{\frac{9}{x}}^{10-x} (2x+y)dy \right) dx.$$

Вычислим внутренний интеграл, считая x – постоянной.

$$\int_{\frac{9}{x}}^{10-x}(2x+y)dy=\int_{\frac{9}{x}}^{10-x}2xdy+\int_{\frac{9}{x}}^{10-x}ydy=2x\int_{\frac{9}{x}}^{10-x}dy+\frac{y^2}{2}\Bigg|_{\frac{9}{x}}^{10-x}=2xy\Big|_{\frac{9}{x}}^{10-x}+\frac{1}{2}(10-x)^2-\frac{81}{2x^2}=$$

$$2x(10-x)-2x\cdot\frac{9}{x}+\frac{1}{2}(10-x)^2-\frac{81}{2x^2}=20x-2x^2-18+50-10x+\frac{1}{2}x^2-\frac{81}{2x^2}=$$

$$=10x-\frac{3}{2}x^2+32-\frac{81}{2x^2}$$

От полученной функции вычислим внешний интеграл

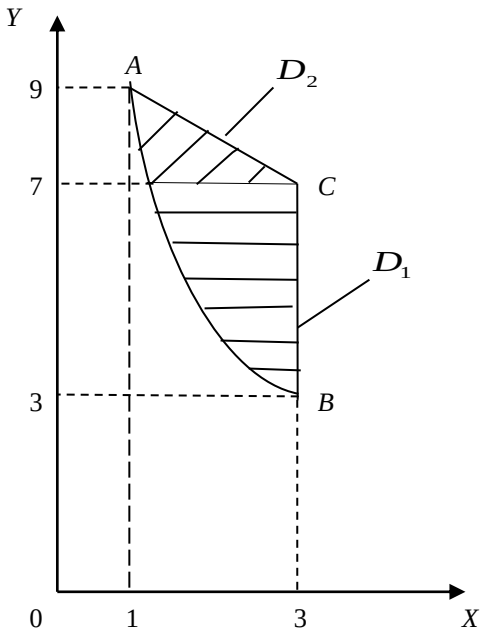
$$\iint_D(2x+y)dS=\int_1^3\left(10x-\frac{3}{2}x^2+32-\frac{81}{2x^2}\right)dx=\left(5x^2-\frac{x^3}{2}+32x+\frac{81}{2x}\right)\Bigg|_1^3=\left(45-\frac{27}{2}+96+\frac{27}{2}\right)-$$

$$-\left(5-\frac{1}{2}+32+\frac{81}{2}\right)=64.$$

Изменить порядок интегрирования в данном случае означает, что внутренний интеграл нужно взять по x, а внешний по y и для вычисления интеграла выбрать формулу:

$$\iint_D f(x,y)dS=\int_a^b\left(\int_{g(y)}^{h(y)}f(x,y)dx\right)dy.$$

Выполним чертеж еще раз:



Найдем координаты точек A, B и C:

$$A:\begin{cases} y=\dfrac{9}{x} \\ y=10-x \end{cases}, A(1;9), \quad B:\begin{cases} x=3 \\ y=\dfrac{9}{x} \end{cases}, B(3;3), \quad C:\begin{cases} x=3 \\ y=10-x \end{cases}, C(3;7).$$

Правая граница области D состоит из отрезков BC и AC различных прямых, следовательно, область D нужно разбить на две части - D_1 и D_2, тогда $\iint\limits_D (2x+y)dS = \int\limits_{D_1} (2x+y)dS + \iint\limits_{D_2} (2x+y)dS$. Уравнения границ нужно решить относительно x. Левая граница обеих частей – дуга $\overset{\cup}{AB}$: $y=\dfrac{9}{x} \Rightarrow x=\dfrac{9}{y}$. Правая граница области D_1 - отрезок BC: $x = 3$. Правая граница области D_2 - отрезок AC: $y=10-x \Rightarrow x=10-y$. Область D_1 расположена между прямыми $y = 3$ и $y = 7$. Внутри области D_1 x изменяется от границы $x=\dfrac{9}{y}$ до границы $x = 3$. Получим $\iint\limits_{D_1} (2x+y)dS = \int\limits_3^7 (\int\limits_{\frac{9}{y}}^3 (2x+y)dx)dy$. Область D_2 расположена между прямыми $y=7$ и $y=9$. Внутри области D_2 x изменяется от границы $x=\dfrac{9}{y}$ до границы $x = 10 – y$.

Получим:

$$\iint\limits_{D_2} (2x+y)dS = \int\limits_7^9 (\int\limits_{\frac{9}{y}}^{10-y} (2x+y)dx)dy.$$

Следовательно:

$$\iint\limits_D (2x+y)dS = \int\limits_3^7 (\int\limits_{\frac{9}{y}}^3 (2x+y)dx)dy + \int\limits_7^9 (\int\limits_{\frac{9}{y}}^{10-y} (2x+y)dx)dy$$ -

порядок интегрирования изменен.

Вычислим:

$$\iint\limits_{D_1} (2x+y)dS = \int\limits_3^7 (\int\limits_{\frac{9}{y}}^3 (2x+y)dx)dy.$$

Внутренний интеграл вычисляем, считая y постоянной.

$$\int_{\frac{9}{y}}^{3}(2x+y)dx=\int_{\frac{9}{y}}^{3}2xdx+\int_{\frac{9}{y}}^{3}ydx=2\int_{\frac{9}{y}}^{3}xdx+y\int_{\frac{9}{y}}^{3}dx=x^2\Big|_{\frac{9}{y}}^{3}+yx\Big|_{\frac{9}{y}}^{3}=3y-\frac{81}{y^2},$$

Тогда $$\iint_{D_1}(2x+y)ds=\int_3^7(3y-\frac{81}{y^2})dy=(\frac{3y^2}{2}+\frac{81}{y})\Big|_3^7=\frac{312}{7}.$$

Вычислим:

$$\iint_{D_2}(2x+y)dS=\int_7^9(\int_{\frac{9}{y}}^{10-y}(2x+y)dx)dy=\int_7^9(x^2+xy)\Big|_{\frac{9}{y}}^{10-y}dy=\int_7^9((10-y)^2+(10-y)y-\frac{81}{y^2}-9)dy=$$

$$=\int_7^9(91-10y-\frac{81}{y^2})dy=(91y-5y^2+\frac{81}{y})\Big|_7^9=\frac{136}{7}.$$

Следовательно:

$$\iint_D(2x+y)dS=\frac{312}{7}+\frac{136}{7}=\frac{448}{7}=64.$$

Мы убедились, что в данном случае проще вычислить внутренний интеграл по y, а внешний по x.

Ответ:

$$\iint_D(2x+y)dS=\int_1^3(\int_{\frac{9}{x}}^{10-x}(2x+y)dy)dx=\int_3^7(\int_{\frac{9}{y}}^{3}(2x+y)dx)dy+\int_7^9(\int_{\frac{9}{y}}^{10-y}(2x+y)dx)dy=64.$$

Пример 2

Найти статические моменты относительно осей координат однородной фигуры: ограниченной линиями $4x^2+y^2=4$, $2x+y=2$ и расположенной в первой четверти, если поверхностная плотность массы $\delta=1$.

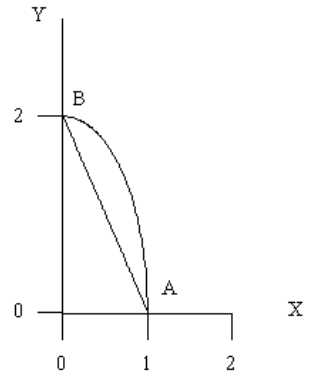
Решение

Выполним чертеж.

Линия $4x^2 + y^2 = 4$ - эллипс

$\frac{x^2}{1} + \frac{y^2}{4} = 1.$

$2x + y = 2$ – прямая.



При построении получили точки пересечения линий A (1;0), B (0;2). По условию задачи выберем формулы вычисления статических моментов плоской области:

$$M_x = \iint\limits_D y dS, \quad M_y = \iint\limits_D x ds.$$

При вычислении M_x внутренний интеграл удобнее брать по y, а при вычислении M_y по x, так как в этом случае внешние интегралы получаются более простыми (проверьте это). Используем обе формулы вычисления двойного интеграла, а значит, уравнения границ области нужно решить и относительно y и относительно x.

Отрезок прямой $2x + y = 2 \Rightarrow y = 2(1 - x)$ или $x = \frac{1}{2}(2 - y).$

Дуга эллипса $4x^2 + y^2 = 4 \Rightarrow y = 2\sqrt{1 - x^2}$ или $x = \frac{1}{2}\sqrt{4 - y^2}$.

$$M_x = \iint\limits_D y ds = \int\limits_0^1 \left(\int\limits_{2(1-x)}^{2\sqrt{1-x^2}} y dy \right) dx = \int\limits_0^1 \left(\frac{1}{2} y^2 \Big|_{2(1-x)}^{2\sqrt{1-x^2}} \right) dx = 2\int\limits_0^1 (1 - x^2 - (1-x)^2) dx =$$

$$= 2\int\limits_0^1 (2x - 2x^2) dx = 2\left(x^2 - \frac{2x^3}{3} \right) \Big|_0^1 = 2\left(1 - \frac{2}{3} \right) = \frac{2}{3}.$$

$$M_y = \iint\limits_D x dz = \int\limits_0^2 \left(\int\limits_{\frac{1}{2}(2-y)}^{\frac{1}{2}\sqrt{4-y^2}} x dx \right) dy = \int\limits_0^2 \left(\frac{1}{2} x^2 \Big|_{\frac{1}{2}(2-y)}^{\frac{1}{2}\sqrt{4-y^2}} \right) dy =$$

$$= \frac{1}{8}\int\limits_0^2 (4 - y^2 - (2-y)^2) dy = \frac{1}{8}\int\limits_0^2 (4y - 2y^2) dy = \frac{1}{8}\left(2y^2 - \frac{2y^3}{3} \right)_0^2 = \frac{1}{4}\left(4 - \frac{8}{3} \right) = \frac{1}{3}.$$

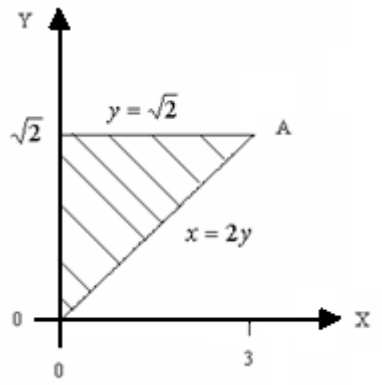
Ответ: $M_x = \frac{2}{3}; M_y = \frac{1}{3}.$

Пример 3

Найти момент инерции относительно оси О*x* фигуры, ограниченной линиями $x=0, y=\sqrt{2}, y=\frac{x}{2},$ если поверхностная плотность массы $\delta = \exp\left(-\frac{xy}{2}\right) = e^{-\frac{xy}{2}}$.

Решение

Выполним чертеж:



По условию задачи выберем формулу момента инерции:

$$J_x = \iint\limits_D y^2 \delta(x,y)ds = \iint\limits_D y^2 e^{-\frac{xy}{2}} ds.$$

Область *D* удобна для вычисления повторного интеграла при любом порядке интегрирования. Подынтегральная функция по x интегрируется значительно легче, чем по y , поэтому возьмем внутренний интеграл по x , а внешний по y.

Решим уравнения границ относительно x. Левая граница: $x=0$ (задана). Правая граница: $y=\frac{x}{2} \Rightarrow x=2y$.

Область *D* расположена между прямыми $y=0$ и $y=\sqrt{2}.$ Внутри области x изменяется от границы $x=0$ до границы $x=2y,$ значит:

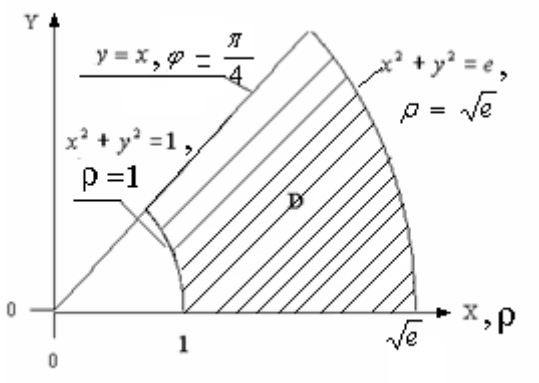
$$J_x = \int\limits_0^{\sqrt{2}} \left(\int\limits_0^{2y} y^2 e^{-\frac{xy}{2}} dx \right) dy = \int\limits_0^{\sqrt{2}} \left(y^2 \int\limits_0^{2y} e^{-\frac{xy}{2}} dx \right) dy = \int\limits_0^{\sqrt{2}} (-y^2 \cdot \frac{2}{y} e^{-\frac{xy}{2}} \Big|_0^{2y}) dy = \int\limits_0^{\sqrt{2}} (-2ye^{-y^2} + 2y) dy =$$

$$= \int\limits_0^{\sqrt{2}} e^{-y^2} d(-y^2) + y^2 \Big|_0^{\sqrt{2}} = e^{-y^2} \Big|_0^{\sqrt{2}} + 2 = e^{-2} - 1 + 2 = e^{-2} + 1.$$

Ответ: $I_x = 1 + e^{-2}.$

Пример 4

Вычислить $I = \iint\limits_D \ln(x^2 + y^2)ds$, если $D: \begin{cases} 1 \le x^2 + y^2 \le e \\ 0 \le y \le x \end{cases}$.



Решение

Построим область *D*. Границы области: $x^2 + y^2 = 1$, $x^2 + y^2 = e$ - окружности радиусов *1* и $\sqrt{e}$ с центром в начале координат *y = 0, y = x* – прямые.

Так как. область интегрирования – часть кольца, перейдем к полярным координатам. В подынтегральном выражении заменим *x, y* и *ds* по формулам:

$x = \rho\cos\varphi$, $y = \rho\sin\varphi$, $ds = \rho d\varphi d\rho$.

Предварительно заменим

$$x^2 + y^2 = (\rho\cos\varphi)^2 + (\rho\sin\varphi)^2 = \rho^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = \rho^2.$$

Тогда $I = \iint\limits_D \ln(x^2 + y^2)ds = \iint\limits_D \ln\rho^2 \cdot \rho d\varphi d\rho = 2\iint\limits_D \rho\ln\rho d\varphi d\rho$

запишем в полярных координатах уравнения границ области

$$x^2 + y^2 = 1 \Rightarrow \rho^2 = 1,\ \rho = 1$$
$$x^2 + y^2 = e \Rightarrow \rho^2 = e,\ \rho = \sqrt{e}$$
$$y = 0 \Rightarrow \rho\sin\varphi = 0,\ \rho \neq 0,\ \sin\varphi = 0,\ \varphi = 0$$
$$y = x \Rightarrow \rho\sin\varphi = \rho\cos\varphi,\ tg\varphi = 1,\ \varphi = \frac{\pi}{4}$$

В полярных координатах внешний интеграл всегда берем по φ, а внутренний -по ρ. Область расположена в секторе между лучами $\varphi = 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{4}$. Внутри

области ρ изменяется от границы $\rho = 1$ до границы $\rho = \sqrt{e}$.Следовательно, по формуле

$$\iint\limits_D f(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi)\rho d\varphi d\rho = \int\limits_\alpha^\beta \left(\int\limits_{g(\varphi)}^{h(\varphi)} f(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi)\rho d\rho) \right) d\varphi$$

$$I = 2\int\limits_0^{\frac{\pi}{4}} (\int\limits_1^{\sqrt{e}} \rho\ln\rho d\rho) d\varphi \cdot$$

Внутренний интеграл вычислим, используя формулу интегрирования по частям:

$$\int\limits_a^b udv = uv\Big|_a^b - \int\limits_a^b vdu$$

$$\int\limits_1^{\sqrt{e}} \rho\ln\rho d\rho = \left| \begin{array}{c} u = \ln\rho, dv = \rho d\rho \\ v = \int \rho d\rho = \frac{\rho^2}{2} \\ du = (\ln\rho)' d\rho = \frac{d\rho}{\rho} \end{array} \right| = \frac{\rho^2}{2}\ln\rho\Big|_1^{\sqrt{e}} - \int\limits_1^{\sqrt{e}} \frac{\rho^2}{2} \cdot \frac{d\rho}{\rho} = \frac{e}{2}\ln\sqrt{e} - \frac{1}{2}\int\limits_1^{\sqrt{e}} \rho d\rho = \frac{e}{2} \cdot \frac{1}{2}\ln e - \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho^2}{2}\Big|_1^{\sqrt{e}} =$$

$$= \frac{e}{4} - \frac{e}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$$

Тогда $J = 2\int\limits_0^{\frac{\pi}{4}} \cdot \frac{1}{4} d\varphi = \frac{1}{2}\varphi\Big|_0^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\pi}{8}$

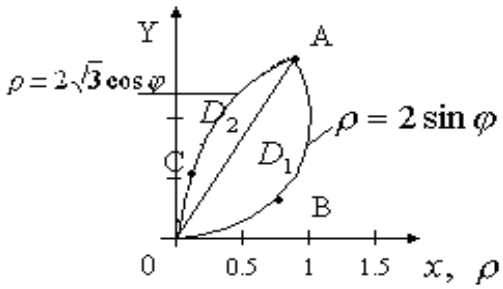
Ответ: $I = \frac{\pi}{8}.$

Пример 5

Вычислить площадь общей части двух кругов: $x^2 + y^2 \le 2y, x^2 + y^2 \le 2x\sqrt{3}$

Решение

Сделаем чертеж



$x^2 + y^2 = 2y$ - окружность $x^2 + (y-1)^2 = 1$ с центром в точке (0;1) радиуса $r = 1$. $x^2 + y^2 = 2x\sqrt{3}$ - окружность $(x-\sqrt{3})^2 + y^2 = 3$ с центром в точке $(\sqrt{3};0)$ радиуса $R = \sqrt{3}.$

Выберем формулу площади фигуры в полярных координатах, так как область ограничена окружностями

$$S = \iint\limits_D \rho d\varphi d\rho$$

Граница области состоит из дуг $\overset{\cup}{OBA}$ и $\overset{\cup}{OCA}$ разных окружностей, разобьем область D лучом OA на две части - $OBAO = D_1$ и $OACO = D_2$.

Площадь $OBAO$ обозначим $S_{1,}$, площадь $OACO$ – S_2.

Уравнения окружностей запишем в полярных координатах

$$\overset{\cup}{OBA}: x^2 + y^2 = 2y \Rightarrow \rho^2 = 2\rho\sin\varphi, \rho = 2\sin\varphi,$$

$$\overset{\cup}{OCA}: x^2 + y^2 = 2x\sqrt{3} \Rightarrow \rho = 2\sqrt{3}\cos\varphi.$$

Найдем уравнение луча OA, для чего найдем полярный угол точки A пересечения окружностей.

$$A: \begin{cases} \rho = 2\sin\varphi \\ \rho = 2\sqrt{3}\cos\varphi. \end{cases}$$

$$2\sin\varphi = 2\sqrt{3}\cos\varphi,\ tg\varphi = \sqrt{3},\ \varphi = \frac{\pi}{3}$$

Уравнение луча OA: $\varphi = \frac{\pi}{3}$

Так как окружность $\overset{\smile}{OBA}$ касается оси *ox*, то область D_1 ограничена лучом $\varphi = 0$.

Так как окружность $\overset{\smile}{OCA}$ касается оси O*y*, то область D_2 ограничена лучом $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Область D_1 расположена в секторе между лучами $\varphi = 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{3}$, внутри области D_1 ρ изменяется от $\rho = 0$ до $\rho = 2\sin\varphi$. Запишем S_1 и вычислим интеграл по формуле

$$S_1 = \iint\limits_{D_1} \rho d\varphi d\rho = \int\limits_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\int\limits_0^{2\sin\varphi} \rho d\rho \right) d\varphi = \int\limits_0^{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{\rho^2}{2}\Big|_0^{2\sin\varphi} \right) d\varphi = \int\limits_0^{\frac{\pi}{3}} 2\sin^2\varphi d\varphi = \int\limits_0^{\frac{\pi}{3}} (1-\cos 2\varphi) d\varphi =$$

$$= (\varphi - \frac{1}{2}\sin 2\varphi)\Big|_0^{\frac{\pi}{3}} = \frac{\pi}{3} - \frac{1}{2}\sin\frac{2\pi}{3} = \frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4}.$$

Область D_2 расположена в секторе между лучами $\varphi = \frac{\pi}{3}$ и $\varphi = \frac{\pi}{2}$, внутри области ρ изменяется от $\rho = 0$ до $\rho = 2\sqrt{3}\cos\varphi$.

$$S_2 = \iint\limits_{D_2} \rho d\varphi d\rho = \int\limits_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \left(\int\limits_0^{2\sqrt{3}\cos\varphi} \rho d\rho \right) d\varphi = \int\limits_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{\rho^2}{2}\Big|_0^{2\sqrt{3}\cos\varphi} \right) d\varphi =$$

$$= \int\limits_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} 6\cos^2\varphi d\varphi = 3\int\limits_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} (1+\cos 2\varphi) d\varphi = 3(\varphi + \frac{1}{2}\sin 2\varphi)\Big|_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} =$$

$$= 3(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{2}\sin\pi) - 3(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{2}\sin\frac{2\pi}{3}) = \frac{3\pi}{2} - \pi - \frac{3\sqrt{3}}{4} = \frac{\pi}{2} - \frac{3\sqrt{3}}{4}.$$

Следовательно

$$S = S_1 + S_2 = \frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\pi}{2} - \frac{3\sqrt{3}}{4} = \frac{5\pi}{6} - \sqrt{3}.$$

Ответ: $S = \frac{5\pi}{6} - \sqrt{3}$.

2. Вычисление и применение тройного интеграла

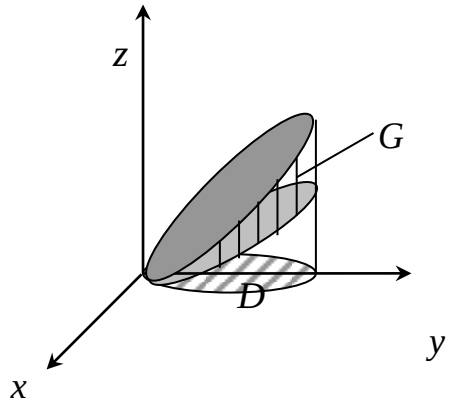
Схема применения тройного интеграла такая же, как двойного: чертеж, выбор формул, поиск всех элементов формул, вычисление полученных интегралов.

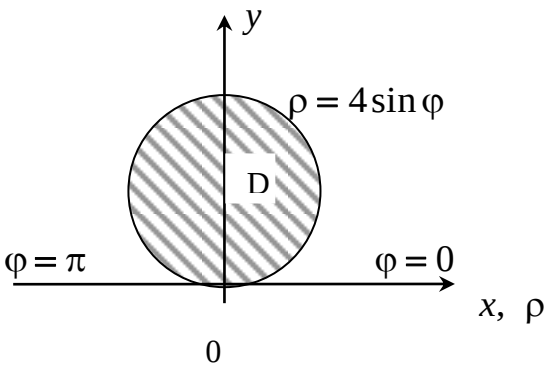
Пример 6

Вычислить объем тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = 4y, z = y, z = 2y.$

Решение

Выполним чертеж. Поверхность $x^2 + y^2 = 4y$ - круговой цилиндр, его образующие параллельны оси *oz*, направляющей служит окружность в плоскости *oxy*. Плоскости *z = y, z = 2y* проходят через ось *ox*, но имеют разный наклон к плоскости *xoy*. Они вырезают из цилиндра слой (область *G*, тело), объем которого нам нужно вычислить.





Объем области *G*: $V = \iiint\limits_G dv.$

Вычислим интеграл по формуле

$$V = \iiint\limits_G dv = \iint\limits_D \left(\int\limits_{g(x,y)}^{h(x,y)} dz \right) ds.$$

Проекцией области *G* на плоскость *xoy* является область *D*, ограниченная окружностью $x^2 + y^2 = 4y$. Снизу область *G* ограничена плоскостью $z = y,$ следовательно, $g(x, y) = y.$ Сверху ограничена плоскостью $z = 2y$, следовательно, $h(x, y) = 2y.$

Тогда $V = \iint\limits_D \left(\int\limits_y^{2y} dz \right) ds = \iint\limits_D \left(z \Big|_y^{2y} \right) ds = \iint\limits_D (2y - y) ds = \iint\limits_D y ds$.

Полученный двойной интеграл вычислим в полярных координатах:

$x = \rho\cos\varphi, y = \rho\sin\varphi, ds = \rho d\varphi d\rho,$

$x^2 + y^2 = 4y \Rightarrow \rho^2 = 4\rho\sin\varphi \Rightarrow \rho = 0(\textit{полюс}), \rho = 4\sin\varphi.$

Область D расположена в секторе между лучами $\varphi = 0 \, и \, \varphi = \pi,$ внутри области ρ изменяется от $\rho = 0$ до $\rho = 4\sin\varphi.$

$$V = \iint\limits_D \rho\sin\varphi \cdot \rho d\varphi d\rho = \iint\limits_D \rho^2 \sin\varphi d\varphi d\rho = \int\limits_0^{\pi} \left(\int\limits_0^{4\sin\varphi} \rho^2 \sin\varphi d\rho \right) d\varphi = \int\limits_0^{\pi} \left(\sin\varphi \int\limits_0^{4\sin\varphi} \rho^2 d\rho \right) d\varphi =$$

$$= \int\limits_0^{\pi} \left(\sin\varphi \cdot \frac{\rho^3}{3} \Big|_0^{4\sin\varphi} \right) d\varphi = \int\limits_0^{\pi} \frac{64}{3} \sin^4\varphi d\varphi = \frac{16}{3} \int\limits_0^{\pi} \left(2\sin^2\varphi \right)^2 d\varphi = \frac{16}{3} \int\limits_0^{\pi} (1 - \cos 2\varphi)^2 d\varphi =$$

$$= \frac{16}{3} \int\limits_0^{\pi} (1 - 2\cos 2\varphi + \cos^2 2\varphi) d\varphi = \frac{16}{3} \varphi \Big|_0^{\pi} - \frac{16}{3} \sin 2\varphi \Big|_0^{\pi} + \frac{8}{3} \int\limits_0^{\pi} (1 + \cos 4\varphi) d\varphi = \frac{16\pi}{3} + \frac{8}{3} \varphi \Big|_0^{\pi} +$$

$$+ \frac{8}{3} \cdot \frac{1}{4} \sin 4\varphi \Big|_0^{\pi} = \frac{16}{3}\pi + \frac{8}{3}\pi = 8\pi.$$

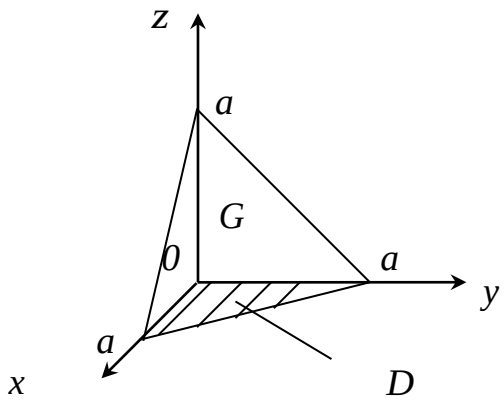
Ответ: $V = 8\pi.$

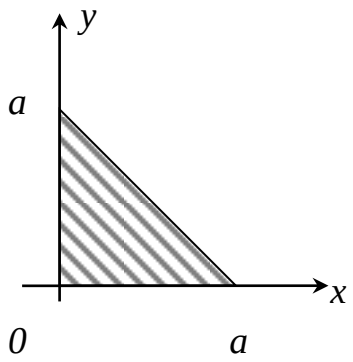
Пример 7

Найти центр массы одородной пирамиды, ограниченной плоскостями $x = 0, y = 0, z = 0, x + y + z = a.$

Решение

$x = 0, y = 0, z = 0$ - координатные плоскости. Найдем точки пересечения плоскости $x + y + z = a$ с осями координат. Например с Оx: $y = 0, z = 0$ подставим в уравнение плоскости $x + 0 + 0 = a,$ получим точку (a ,0, 0).





Проекция пирамиды на плоскость xoy – равнобедренный прямоугольный треугольник, ограниченный осями координат и линией пересечения плоскости $x+y+z=a$ с плоскостью $z=0$. Уравнение этой линии в плоскости xoy $x+y+0=a$ или $y=a-x$. Из соображений симметрии ясно, что все три координаты центра массы одинаковы. Найдем x_c по формуле

$$x_C=\frac{1}{V}\iiint\limits_G x\,dv.$$

G – область, занятая пирамидой. Объем пирамиды

$$V=\frac{1}{3}S_{осн.}\cdot H,\quad S_{осн.}=\frac{1}{2}a\cdot a=\frac{a^2}{2},\quad H=a,\quad V=\frac{1}{3}\cdot\frac{a^2}{2}\cdot a=\frac{a^3}{6}.$$

Внутри пирамиды G переменная z изменяется от $z=0$ (нижняя грань) до $z=a-x-y$ (верхняя грань).

Тогда

$$\iiint\limits_G x\,dv=\iint\limits_D\left(\int\limits_0^{a-x-y}x\,dz\right)ds=\iint\limits_D\left(xz\Big|_0^{a-x-y}\right)ds=\iint\limits_D x\,(a-x-y)\,ds=\int\limits_0^a\left(\int\limits_0^{a-x}(x\,(a-x)-xy)\,dy\right)dx=$$

$$=\int\limits_0^a\left(x(a-x)y-x\frac{y^2}{2}\right)\Big|_0^{a-x}dx=\int\limits_0^a(x(a-x)(a-x)-\frac{x(a-x)^2}{2})dx=\int\limits_0^a\frac{x(a-x)^2}{2}dx=$$

$$=\frac{1}{2}\int\limits_0^a(a^2x-2ax^2+x^3)dx=\frac{1}{2}(a^2\frac{x^2}{2}-2a\frac{x^3}{3}+\frac{x^4}{4})\Big|_0^a=\frac{1}{2}(\frac{a^4}{2}-\frac{2a^4}{3}+\frac{a^4}{4})=\frac{a^4}{24}$$

$x_c=\frac{a^4}{24}:\frac{a^3}{6}=\frac{6a^4}{24a^3}=\frac{a}{4}$, тогда $y_c=z_c=\frac{a}{4}$, $C(\frac{a}{4};\frac{a}{4};\frac{a}{4})$.

Ответ: $(\frac{a}{4};\frac{a}{4};\frac{a}{4})$.

3. Вычисление и применение поверхностного интеграла первого рода

Схема применения:

1. Выбрать формулу по условию задачи и получить поверхностный интеграл.
2. Найти проекцию поверхности на координатную плоскость. Сделать чертеж получившейся плоской области *D*.
3. Найти формулу элемента $d\sigma$ поверхности.
4. Поверхностный интеграл привести к двойному интегралу и вычислить двойной интеграл.

Пример 8

Найти массу, распределенную по части эллипсоида $z = 2\sqrt{1-x^2-y^2}$, находящейся внутри цилиндра $x^2 + y^2 = \frac{1}{4}$, если поверхностная плотность массы $\delta = \frac{1}{2}z$.

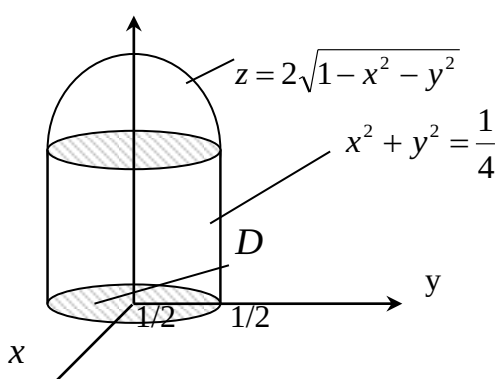
Решение

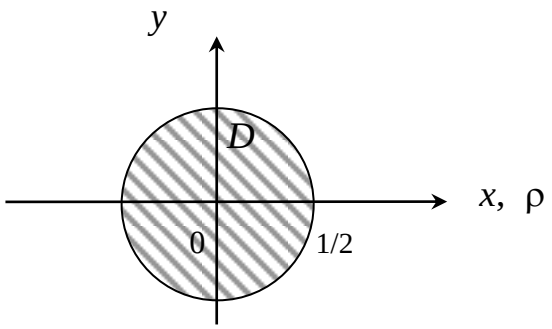
Масса, распределенная по поверхности σ с плотностью, $\delta = \delta\,(x, y, z)$ равна поверхностному интегралу:

$$m = \iint\limits_{\sigma} \delta(x, y, z)d\sigma = \iint\limits_{\sigma} \frac{1}{2} z d\sigma.$$

Образующие цилиндрической поверхности $x^2 + y^2 = \frac{1}{4}$ параллельны оси *oz*, направляющей является окружность в плоскости *xoy* с уравнением $x^2 + y^2 = \frac{1}{4}$.

Центр окружности *O* (0;0), радиус $R = \frac{1}{2}$. Следовательно, проекция заданной части эллипсоида на плоскость *xoy* – круг *D*, ограниченный этой окружностью.





Составим формулу элемента $d\sigma = \sqrt{1+(z'_x)^2+(z'_y)^2}\,ds$;

$$z = 2\sqrt{1-x^2-y^2},\ z'_x = \frac{-2x}{\sqrt{1-x^2-y^2}},\ z'_y = \frac{-2y}{\sqrt{1-x^2-y^2}},$$

$$d\sigma = \sqrt{1+\frac{4x^2}{1-x^2-y^2}+\frac{4y^2}{1-x^2-y^2}}ds = \sqrt{\frac{1+3x^2+3y^2}{1-x^2-y^2}}ds.$$

Подставим z и $d\sigma$ в поверхностный интеграл и приведем его к двойному интегралу

$$m = \iint\limits_{\sigma}\frac{1}{2}z d\sigma = \iint\limits_{D}\frac{1}{2}\cdot 2\sqrt{1-x^2-y^2}\cdot\sqrt{\frac{1+3x^2+3y^2}{1-x^2-y^2}}ds = \iint\limits_{D}\sqrt{1+3x^2+3y^2}\,ds.$$

Двойной интеграл вычислим в полярных координатах. Возьмем $x = \rho\cos\varphi, y = \rho\sin\varphi, ds = \rho d\varphi d\rho,$ уравнение окружности $x^2+y^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow \rho^2 = \frac{1}{4}, \rho = \frac{1}{2}.$ Полюс *0* находится внутри области *D,* поэтому область *D* занимает сектор от $\varphi = 0$ до $\varphi = 2\pi.$ Внутри области *D* ρ изменяется от $\rho = 0$ до $\rho = \frac{1}{2}.$

$$m = \iint\limits_{D}\sqrt{1+3\rho^2\cos^2\varphi+3\rho^2\sin^2\varphi}\,\rho d\varphi d\rho = \iint\limits_{D}\sqrt{1+3\rho^2}\,\rho d\varphi d\rho = \int\limits_0^{2\pi}\left(\int\limits_0^{\frac{1}{2}}\sqrt{1+3\rho^2}\,\rho d\rho\right)d\varphi.$$

Так как внутренний интеграл не зависит от φ, вынесем его за знак внешнего интеграла:

$$m = (\int_0^{\frac{1}{2}} \sqrt{1+3\rho^2}\,\rho d\rho) \cdot \int_0^{2\pi} d\varphi;$$

$$\int_0^{2\pi} d\varphi = \varphi|_0^{2\pi} = 2\pi;$$

$$\int_0^{\frac{1}{2}} \sqrt{1+3\rho^2}\,\rho d\rho = \left| \begin{array}{l} \textit{Сделаем подстановку} \\ \sqrt{1+3\rho^2} = t, 1+3\rho^2 = t^2,\ 6\rho d\rho = 2tdt, \rho d\rho = \frac{1}{3}tdt, \\ \textit{при } \rho = 0, t = 1, \rho = \frac{1}{2}, t = \sqrt{1+\frac{3}{4}} = \frac{\sqrt{7}}{2} \end{array} \right| = \int_1^{\frac{\sqrt{7}}{2}} t \cdot \frac{1}{3}tdt = \frac{1}{3}\int_1^{\frac{\sqrt{7}}{2}} t^2 dt = \frac{1}{3} \cdot \frac{t^3}{3}\Big|_1^{\frac{\sqrt{7}}{2}} =$$

$$= \frac{1}{9}\left(\frac{7\sqrt{7}}{8} - 1\right) = \frac{7\sqrt{7}-8}{72}, \quad m = 2\pi \cdot \frac{7\sqrt{7}-8}{72} = \frac{\pi(7\sqrt{7}-8)}{36}.$$

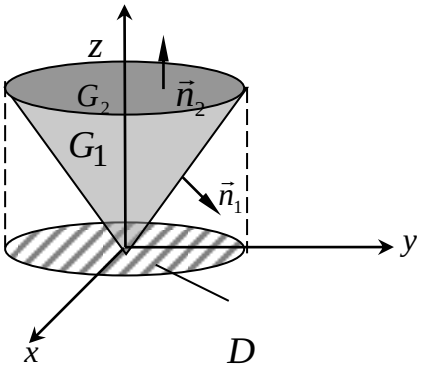
Ответ: $m = \frac{\pi(7\sqrt{7}-8)}{36}$.

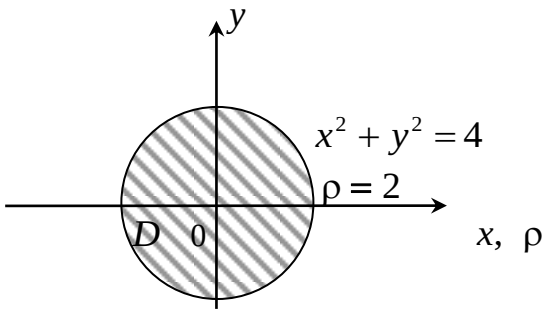
Пример 9

Найти поток векторного поля $\bar{u} = (1-2x)\vec{i} + 2y\vec{j} + 2z\vec{k}$ через замкнутую поверхность σ, состоящую из части поверхности конуса $z = \sqrt{x^2+y^2}$ и плоскости $z = 2$.

Решение

Выполним чертеж.





Найдем линию пересечения поверхностей:

$$\begin{cases} z = 2 \\ z = \sqrt{x^2+y^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z = 2 \\ \sqrt{x^2+y^2} = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z = 2 \\ x^2+y^2 = 4. \end{cases}$$

В плоскости $z=2$ получили окружность $x^2+y^2=4$ с центром $C(0,0,2)$ радиуса 2.

Вершина конуса $O(0,0,0)$.

Проекцией обеих поверхностей на плоскость xoy является круг D, ограниченный окружностью $x^2+y^2=4$ с центром $O(0,0,0)$ радиуса $R=2$. Поверхность σ состоит из конической поверхности σ_1 и части плоскости σ_2, поэтому $\Pi_\sigma(\vec{u})=\Pi_{\sigma_1}(\vec{u})+\Pi_{\sigma_2}(\vec{u})$.

Формула вычисления потока

$$\Pi_\sigma(\vec{u})=\iint\limits_\sigma(\vec{u}\cdot\vec{n})d\sigma=\iint\limits_D\left(\frac{\vec{u}\cdot\vec{n}}{|\cos\gamma|}\right)_{z=z(x,y)}ds.$$

Для вычисления $\Pi_{\sigma_1}(\vec{u})$ потока вектора $\vec{u}$ через коническую поверхность запишем уравнение конуса $z=\sqrt{x^2+y^2}$ в виде $F(x,y,z)=\sqrt{x^2+y^2}-z=0.$

Найдем:

$$F'_x=\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}};F'_y=\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}};F'_z=-1,$$

$$gradF=F'_x\vec{i}+F'_y\vec{j}+F'_z\vec{k}=\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\vec{i}+\frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}\vec{j}-\vec{k},$$

$$|gradF|=\sqrt{\frac{x^2}{x^2+y^2}+\frac{y^2}{x^2+y^2}+1}=\sqrt{2}.$$

Вектор $\vec{n}_1$ составляет с oz тупой угол, т. е. $\cos\gamma<0$, коэффициент перед $\vec{k}$ должен быть отрицательным.

Возьмем

$$\vec{n}_1=+\frac{gradF}{|gradF|}=\frac{x}{\sqrt{2(x^2+y^2)}}\vec{i}+\frac{y}{\sqrt{2(x^2+y^2)}}\vec{j}-\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{k},$$

Так как $\vec{n}=\cos\alpha\cdot\vec{i}+\cos\beta\cdot\vec{j}+\cos\gamma\cdot\vec{k}$

Получим: $\cos\gamma = -\frac{1}{\sqrt{2}}, |\cos\gamma| = \frac{1}{\sqrt{2}}$

Вычислим:

$$\vec{u}\cdot\vec{n} = (1-2x)\frac{x}{\sqrt{2(x^2+y^2}} + 2y\frac{y}{\sqrt{2(x^2+y^2}} + 2z\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{x-2x^2+2y^2-2z\sqrt{x^2+y^2}}{\sqrt{2(x^2+y^2)}}$$

Учитывая, что на поверхности $z = \sqrt{x^2+y^2}$,

$$\vec{u}\cdot\vec{n}\big|_{z=\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{x-2x^2+2y^2-2\sqrt{x^2+y^2}\cdot\sqrt{x^2+y^2}}{\sqrt{2(x^2+y^2)}} = \frac{x-4x^2}{\sqrt{2(x^2+y^2)}},$$

$$\Pi_{\sigma_1}(\vec{u}) = \iint\limits_D \left(\frac{\vec{u}\cdot\vec{n}}{|\cos\gamma|}\right)_{z=\sqrt{x^2+y^2}} ds = \iint\limits_D \frac{x-4x^2}{\sqrt{x^2+y^2}} ds.$$

Полученный интеграл вычислим в полярных координатах. Заменим $x = \rho\cos\varphi, y = \rho\sin\varphi, ds = \rho d\varphi d\rho$

$$x^2+y^2 = 4 \Rightarrow \rho^2 = 4, \rho = 2$$

$$\Pi_{\sigma_1}(u) = \iint\limits_D \frac{\rho\cos\varphi - 4\rho^2\cos^2\varphi}{\sqrt{\rho^2}}\rho d\varphi d\rho = \iint\limits_D (\rho\cos\varphi - 4\rho^2\cos^2\varphi) d\varphi d\rho =$$

$$= \int\limits_0^{2\pi}\left(\int\limits_0^2 (\rho\cos\varphi - 4\rho^2\cos^2\varphi) d\rho\right) d\varphi = \int\limits_0^{2\pi}\left(\cos\varphi\frac{\rho^2}{2}\Big|_0^2 - 4\cos^2\varphi\frac{\rho^3}{3}\Big|_0^2\right) d\varphi = \int\limits_0^{2\pi}(2\cos\varphi - \frac{32}{3}\cos^2\varphi) d\varphi =$$

$$= 2\sin\varphi\Big|_0^{2\pi} - \frac{16}{3}\int\limits_0^{2\pi}(1+\cos 2\varphi) d\varphi = -\frac{16}{3}(\varphi + \frac{1}{2}\sin 2\varphi)\Big|_0^{2\pi} = -\frac{32\pi}{3}.$$

Вычислим $\Pi_{\sigma_2}(\vec{u})$ поток вектора $\vec{u}$ через круг σ_2 в плоскости $z = 2$. Единичный вектор внешней нормали этой плоскости равен $\vec{k} = (0,0,1)$; $\vec{n} = \vec{k}$; поэтому

$$\vec{u}\cdot\vec{n} = (1-2x)\cdot 0 + 2y\cdot 0 + 2z\cdot 1 = 2z, \cos\gamma = \cos 0 = 1, \frac{\vec{u}\cdot\vec{n}}{|\cos\gamma|}\Big|_{z=2} = 2\cdot 2 = 4.$$

$$\Pi_{\sigma_2}(\vec{u}) = \iint\limits_D 4 ds = 4\iint\limits_D ds = 4\cdot S = 4(\pi R^2) = 4\pi\cdot 2^2 = 16\pi,$$

(D – круг радиуса 2).

Следовательно, $\Pi_\sigma(\vec{u}) = \Pi_{\sigma_1}(\vec{u}) + \Pi_{\sigma_2}(\vec{u}) = -\frac{32\pi}{3} + 16\pi = \frac{16\pi}{3}$.

Ответ: $\Pi_\sigma = \frac{16\pi}{3}$.

4. Вычисление и применение криволинейного интеграла

Схема решения задач

1. По условию задачи выбрать формулу и записать искомую величину в виде криволинейного интеграла первого или второго рода.

2. Выразить из уравнения кривой все переменные и их дифференциалы через одну переменную и ее дифференциал. Всё подставить в подынтегральное выражение.

3. Найти интервал изменения этой переменной на заданной дуге кривой и вычислить полученный определенный интеграл.

Пример 10

Вычислить $\int\limits_L \frac{y^3 dl}{\sqrt{2-y^2}}$, если L – дуга $\overset{\smile}{OA}$ синусоиды $y = \sin x, O(0, 0), A\left(\frac{\pi}{2}; 1\right)$.

Решение

Для вычисления криволинейного интеграла первого рода найдем *dl*. Из уравнения кривой $y = \sin x \quad y' = (\sin x)' = \cos x, dl = \sqrt{1+(y')^2}\,dx = \sqrt{1+\cos^2 x}\,dx$. Так как кривая L не ориентирована, возьмем : $0 \le x \le \frac{\pi}{2}$, y и dl подставим в подынтегральное выражение. Получим и вычислим определенный интеграл.

$$\int\limits_L \frac{y^3 dl}{\sqrt{2-y^2}} = \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^3 x \cdot \sqrt{1+\cos^2 x}}{\sqrt{2-\sin^2 x}} dx = \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^3 x \sqrt{1+\cos^2 x}}{\sqrt{1+\cos^2 x}} dx = \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^3 x dx = \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 x \cdot \sin x dx =$$

$$= \int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} (1-\cos^2 x)\sin x dx = \left| \begin{array}{l} \cos x = t, -\sin x dx = dt, \ \sin x dx = -dt \\ x = 0, t = \cos 0 = 1, \ x = \frac{\pi}{2}, t = \cos\frac{\pi}{2} = 0 \end{array} \right| = \int\limits_1^0 (1-t^2)(-dt) = \int\limits_0^1 (1-t^2)dt =$$

$= (t - \frac{t^3}{3})|_0^1 = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}.$

Пример 11

Вычислить $\int\limits_L x\sqrt[3]{y}dx - 6x^3dy$ по дуге кривой $y = x^3$ от A (1,1) до B (-1,-1).

Решение

Для вычисления криволинейного интеграла второго рода выразим y и dy через x и dx из уравнения кривой $y = x^3, dy = 3x^2dx.$ В интегралах второго рода кривая ориентирована. При движении по кривой от A до B переменная x изменяется от 1 до –1. Всё подставим в подынтегральное выражение.

$$\int\limits_L x\cdot\sqrt[3]{y}dy - 6x^2dy = \int\limits_1^{-1}(x\cdot\sqrt[3]{x^3}dx - 6x^3\cdot 3x^2dx) = \int\limits_1^{-1}(x^2 - 18x^5)dx = (\frac{x^3}{3} - 3x^6)|_1^{-1} = (-\frac{1}{3} - 3) - (\frac{1}{3} - 3) = -\frac{2}{3}.$$

Пример 12

Найти массу дуги $\overset{\cup}{OA}$ кривой $y = \frac{2x\sqrt{x}}{3}$, если линейная плотность массы в точке $M\,(x,y)$ пропорциональна длине дуги $\left|\overset{\cup}{OM}\right|$, $O(0,0)$, $A(4,\frac{16}{3})$.

Решение

Выберем формулу $m = \int\limits_L \delta(x,y)dl$, где $\delta = \delta(x,y)$ - линейная плотность массы.

По условию задачи $\delta = k\left|\overset{\cup}{OM}\right| = kl.$ Найдем длину дуги $\overset{\cup}{OM}: l = \int\limits_{\overset{\cup}{OM}} dl$. Уравнение $\overset{\cup}{OM}: y = \frac{2x\sqrt{x}}{3}$, тогда $y' = \frac{2}{3}\cdot\frac{3}{2}x^{\frac{1}{2}} = \sqrt{x}, dl = \sqrt{1+(y')^2}dx = \sqrt{1+x}dx.$

$$l = \int\limits_{\overset{\cup}{OM}} \sqrt{1+x}dx = \int\limits_0^x \sqrt{1+x}dx = \int\limits_0^x (1+x)^{\frac{1}{2}}d(1+x) = \left.\frac{(1+x)^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}\right|_0^x = \frac{2}{3}((1+x)^{\frac{3}{2}} - 1).$$

Получим $\delta = \frac{2k}{3}((1+x)^{\frac{3}{2}} - 1)$,

$m = \int\limits_{\overset{\smile}{OA}} \frac{2k}{3}((1+x)^{\frac{3}{2}} - 1)dl, \quad dl = \sqrt{1+x}dx = (1+x)^{\frac{1}{2}}dx, \quad 0 \le x \le 4,$ так как $\overset{\smile}{OM}$ и $\overset{\smile}{OA}$ - дуги одной кривой.

$$m = \int_0^4 \frac{2k}{3}((1+x)^{\frac{3}{2}} - 1)(1+x)^{\frac{1}{2}}dx = \frac{2k}{3}\int_0^4 ((1+x)^2 - (1+x)^{\frac{1}{2}})dx = \frac{2k}{3}(\frac{(1+x)^3}{3} - \frac{2}{3}(1+x)^{\frac{3}{2}})\Big|_0^4 =$$

$$= \frac{2k}{3}(\frac{5^3}{3} - \frac{2}{3}5^{\frac{3}{2}}) - \frac{2k}{3}(\frac{1}{3} - \frac{2}{3}) = \frac{2k}{9}(125 - 10\sqrt{5} + 1) = \frac{2k}{9}(126 - 10\sqrt{5}).$$

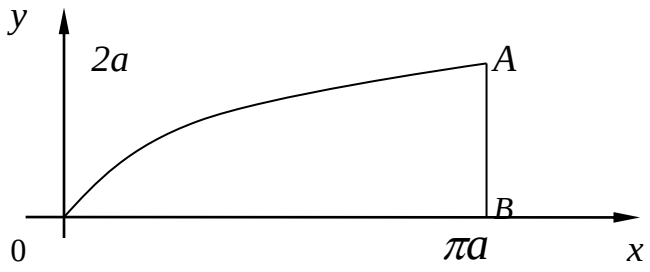
Ответ: $m = \frac{2k}{9}(126 - 10\sqrt{5}).$

Пример 13

Вычислить работу силового поля $\vec{F} = (2a - y)\vec{i} + (y - a)\vec{j}$ при движении точки вдоль первой арки циклоиды $x = a(t - \sin t), y = a(1 - \cos t)$ от $O(0,0)$ до $A(\pi a; 2a)$. Найти циркуляцию векторного поля $\vec{F}$ вдоль замкнутого контура $OBAO$, составленного из дуги $\overset{\smile}{AO}$ циклоиды и двух прямых OB и BA, если $B(\pi a; 0)$. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{OA}$ циклоиды.

Решение

Сделаем чертеж



1) Обозначим работу поля $\vec{F} = P(x,y)\vec{i} + Q(x,y)\vec{j}$ через W и найдем её по формуле

$$W = \int_L \vec{F}\,\vec{dr} = \int_L P(x,y)dx + Q(x,y)dy;$$

$$W = \int\limits_{\overset{\smile}{OA}} (2a - y)dx + (y - a)dy.$$

Из уравнения OA:

$$x = a\,(t - \sin t),\ dx = a\,(1 - \cos t)\,dt$$

$$y = a\,(1 - \cos t),\ dy = a \sin t\, dt.$$

В точке $O\,(0, 0)$ $y = 0$, $0 = a\,(1 - \cos t)$, $\cos t = 1$, $t = 0$, в точке $A\,(\pi a;\ 2a)$, $y = 2a$, $2a = a\,(1 - \cos t)$, $2 = 1 - \cos t$, $\cos t = -1$, $t = \pi$ (обязательно проверяем, получаются, ли значения x в этих точках при найденных значениях t).

$$W = \int_0^{\pi} ((2a - a + a\cos t)a(1 - \cos t)dt + (a - a\cos t - a)a\sin t dt)) =$$

$$= \int_0^{\pi} (a^2(1 + \cos t)(1 - \cos t) - a^2 \cos t \sin t)dt = a^2 \int_0^{\pi} (1 - \cos^2 t - \cos t \sin t)dt = a^2 \int_0^{\pi} (\sin^2 t - \frac{1}{2}\sin 2t)dt =$$

$$= \frac{a^2}{2}\int_0^{\pi} (1 - \cos 2t)dt - \frac{a^2}{2}\int_0^{\pi} \sin 2t dt = \frac{a^2}{2}(t - \frac{1}{2}\sin 2t)|_0^{\pi} + \frac{a^2}{2} \cdot \frac{1}{2}\cos 2t|_0^{\pi} = \frac{a^2\pi}{2}.$$

Найдем циркуляцию поля $\vec{F}$ вдоль замкнутого контура $OBAO$ по формуле

$$Ц_L = \oint_L \vec{F} \cdot \vec{dr} = \oint_L P(x, y)dx + Q(x, y)dy = \oint_L (2a - y)dx + (y - a)dy.$$

Контур $L = OBAO = OB + BA + A\breve{O}$

$$\oint_L = \int_{OB} + \int_{\breve{BA}} + \int_{AO}$$

$$\int_{OB} = \int_{OB} (2a - y)dx + (y - a)dy$$

Из уравнения OB: $y = 0$ получим $dy = 0$, x изменяется от 0 до πa.

$$\int_{OB} = \int_0^{\pi a} (2a - 0)dx = 2ax|_0^{\pi a} = 2\pi a^2$$

$$\int_{BA} = \int_{BA} (2a - y)dx + (y - a)dy$$

Из уравнения BA: $x = \pi a, dx = 0, y$ изменяется от 0 до $2a$.

$$\int_{BA} = \int_0^{2a} (y - a)dy = \left(\frac{y^2}{2} - ay\right)\Big|_0^{2a} = 2a^2 - 2a^2 = 0.$$

$$\int_{AO} = -\int_{\breve{OA}} = -\int_{\breve{OA}} (2a - y)dx + (y - a)dy = -W = -\frac{\pi a^2}{2}$$

$$Ц_L(\vec{F}) = 2\pi a^2 + 0 - \frac{\pi a^2}{2} = \frac{3\pi a^2}{2}$$

2) Найдем поток поля $\vec{F}$ через кривую $\overset{\smile}{OA}$ по формуле

$$\Pi_L(\vec{F}) = \int_L Q(x,y)dx - P(x,y)dy = \int_{\overset{\cup}{OA}} (y-a)dx - (2a-y)dy =$$

$$= \int_0^{\pi} \Big((a - a\cdot\cos\ t - a)\cdot a\cdot(1-\cos\ t)dt - (2a - a + a\cos\ t)\, a\cdot\sin\ t\, dt \Big) =$$

$$= \int_0^{\pi} (-a^2\cos\ t\cdot(1-\cos\ t) - a^2\cdot(1+\cos\ t)\cdot\sin\ t)dt =$$

$$= a^2 \int_0^{\pi} (-\cos t + \cos^2 t - \sin t - \cos t\cdot\sin t)\, dt =$$

$$= a^2(-\sin\ t\Big|_0^{\pi} + \frac{1}{2}\int_0^{\pi}(1+\cos 2t)dt + \cos\ t\Big|_0^{\pi} - \frac{1}{2}\int_0^{\pi}\sin 2t\, dt) =$$

$$= a^2(0 + \frac{1}{2}\left(t + \frac{1}{2}\sin 2t\right)\Big|_0^{\pi} + (-1-1) + \frac{1}{4}\cos 2t\Big|_0^{\pi}\Big) = a^2\left(\frac{\pi}{2} - 2\right).$$

Ответ: $W = \frac{\pi a^2}{2}; Ц_L(\vec{F}) = \frac{3\pi a^2}{2}; \Pi_{\overset{\cup}{OA}}(\vec{F}) = a^2\left(\frac{\pi}{2} - 2\right).$

Пример 14

Найти ротор и дивергенцию векторного поля $\vec{u} = \frac{2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k}}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}$ в произвольной точке M (x, y, z) и в точке $M_0(2;-2;1)$.

Решение

По формуле

$$rot\vec{u} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & R \end{vmatrix} = (\frac{\partial R}{\partial y} - \frac{\partial Q}{\partial z})\vec{i} - (\frac{\partial R}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial z})\vec{j} + (\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y})\vec{k};$$

$$P = \frac{2}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}; Q = \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}; R = \frac{-1}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}.$$

Найдем частные производные

$$\frac{\partial P}{\partial x}=\left(\frac{2}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\right)'_x=(2(x^2+y^2+z^2)^{-\frac{1}{2}})'_x=2\cdot(-\frac{1}{2})(x^2+y^2+z^2)^{-\frac{3}{2}}\cdot 2x=-\frac{2x}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)^3}}.$$

Обозначив $r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ запишем

$$\frac{\partial P}{\partial x}=-\frac{2x}{r^3},\quad \frac{\partial P}{\partial y}=-\frac{2y}{r^3};\quad \frac{\partial P}{\partial z}=-\frac{2z}{r^3};$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x}=-\frac{x}{r^3};\quad \frac{\partial Q}{\partial y}=-\frac{y}{r^3};\quad \frac{\partial Q}{\partial z}=-\frac{z}{r^3};$$

$$\frac{\partial R}{\partial x}=\frac{x}{r^3};\quad \frac{\partial R}{\partial y}=\frac{y}{r^3};\quad \frac{\partial R}{\partial z}=\frac{z}{r^3}.$$

Подставим найденные производные в формулу ротора

$$rot\vec{u}(M)=\left(\frac{y}{r^3}+\frac{z}{r^3}\right)\vec{i}-\left(\frac{x}{r^3}+\frac{2z}{r^3}\right)\vec{j}+\left(-\frac{x}{r^3}+\frac{2y}{r^3}\right)\vec{k}=\frac{(z+y)\vec{i}-(x+2z)\vec{j}+(2y-x)\vec{k}}{r^3}=$$

$$=\frac{(z+y)\vec{i}-(x+2z)\vec{j}+(2y-x)\vec{k}}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)^3}}.$$

В точке M_0 (2;-2;1)

$$rot\vec{u}(M_0)=\frac{(1-2)\vec{i}-(2+2)\vec{j}+(-4-2)\vec{k}}{\sqrt{(4+4+1)^3}}=\frac{-1\vec{i}-4\vec{j}-6\vec{k}}{27}.$$

По формуле

$$div\vec{u}(M)=\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial Q}{\partial y}+\frac{\partial R}{\partial z}$$

$$div\vec{u}(M)=-\frac{2x}{r^3}-\frac{y}{r^3}+\frac{z}{r^3}=-\frac{2x+y-z}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)^3}}$$

$$div\vec{u}(M_0)=-\frac{4-2-1}{27}=-\frac{1}{27}.$$

Ответ:

$$rot\vec{u}(M) = \frac{(z+y)\vec{i} - (x+2z)\vec{j} + (2y-x)\vec{k}}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)^3}},$$

$$rot\vec{u}(M_0) = -\frac{1}{27}(\vec{i} + 4\vec{j} + 6\vec{k}),$$

$$div\vec{u}(M) = -\frac{2x+y-z}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)^3}},$$

$$div\vec{u}(M_0) = -\frac{1}{27}.$$

V. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Вариант 1

1. Найти момент инерции относительно начала координат однородной фигуры, ограниченной линиями $xy = 2$, $y = 2x$, $2y = x$ и расположенной в первой четверти $(x \geq 0, y \geq 0)$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_0 = 3$.

2. Найти площадь фигуры $2x \leq x^2 + y^2 \leq 4x, 0 \leq y \leq x\sqrt{3}$.

Ответ: $S = \pi + \frac{3\sqrt{3}}{4}$.

3. Найти электрический заряд кривой $y = \frac{x^2}{2}$, $1 \leq x \leq 2$, если плотность заряда $\lambda = \frac{y}{x}$.

Ответ: $q = \frac{1}{6}(5\sqrt{5} - 2\sqrt{2})$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = y(x-y)\vec{i} + x\vec{j}$ при перемещении точки по эллипсу $x=2\cos t$, $y = \sin t$ из A (2, 0) в B (0,1). Найти циркуляцию $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABDA$, где D(-1,1), BD и DA - прямые. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$ эллипса.

Ответ: $W = \frac{\pi}{2}$; Ц $= \frac{\pi}{2}$; П $= \frac{7}{3}$.

5. Найти координаты центра массы однородного тела, ограниченного поверхностями $x = 0$, $y = 0$, $z = 1$, $z = 3$, $2x + y = 3$.

Ответ: $C(\frac{1}{2}; 1,2)$.

6. Найти массу части сферы $x^2 + y^2 + z^2 = a^2$, расположенной в первом октанте $(x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$, если поверхностная плотность массы $\delta = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Ответ: $m = \frac{1}{8}\pi^2 a^3$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = -(3y^2 + 2x^2)\vec{i} + 2x^2\vec{j} - (2x^2 + y^2)\vec{k}$ в точке $M(x,y,z)$ и в точке $M_0(1,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -4, rot\vec{a}(M_0) = -2\vec{i} + 4\vec{j} + 10\vec{k}$.

Вариант 2

1. Найти ординату центра массы фигуры, ограниченной линиями $y = e^x, y = e^{-x}, x = 1,$ если поверхностная плотность массы $\delta = e^x$.

Ответ: $y = \dfrac{e^3 - 3e^{-1} - 4}{3e^2 - 9}$.

2. Найти площадь фигуры, ограниченной кардиоидой $\rho = a(1 - \sin\varphi)$ и окружностью $\rho = a$ и расположенной вне кардиоиды.

Ответ: $s = \dfrac{a^2(8-\pi)}{4}$.

3. Найти массу дуги параболы $y^2 = 2px, 0 \le x \le \dfrac{p}{2}$, если линейная плотность массы $\delta = |y|$.

Ответ: $m = \dfrac{2p^2}{3}(2\sqrt{2} - 1)$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = -y\vec{i} + x\vec{j}$ при перемещении точки по окружности $x = 2\cos t$, $y = 2\sin t$ из A (2,0) в B (-2,0). Найти циркуляцию $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABDA$, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ и прямых BD и DA, где D (-2;-2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = 4\pi, \quad \Pi = 0, \quad Ц = 4\pi + 8.$

5. Найти момент инерции относительно оси Oz однородного тела, ограниченного поверхностями $x + y + z = a\sqrt{2}, \; x^2 + y^2 = a^2, z = 0,$ если плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $J_z = \dfrac{\pi a^5}{\sqrt{2}}$.

6. Найти электрический заряд части поверхности $z = \dfrac{1}{2}(x^2 + y^2),$ отсеченной плоскостью $z = 1$, если поверхностная плотность заряда $\lambda = z$.

Ответ: $q = \dfrac{2\pi(1 + 6\sqrt{3})}{15}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля в точке M (x, y, z) и в точке $M_0(1,2,3)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = 0, rot\vec{a}(M_0) = -2\vec{i} + 4\vec{j} - 2\vec{k}.$

Вариант 3

1. Найти момент инерции относительно оси ox однородной фигуры, ограниченной линиями $\frac{y}{h}-\frac{3x}{a}=1,\ \frac{y}{h}+\frac{3x}{2a}=1, y=0,$ если поверхностная плотность массы $\delta=1.$

Ответ: $J_x=\frac{ah^3}{12}.$

2. Найти площадь фигуры, ограниченной кардиоидой $\rho=4(1+\sin\varphi)$ и прямой $\rho\sin\varphi=3$ и расположенной выше прямой.

Ответ: $S=8\pi+9\sqrt{3}.$

3. Найти электрический заряд кривой $y=\ln\cos x, 0\le x\le\frac{\pi}{6},$ если линейная плотность заряда равна $\lambda=\sin x\cdot\cos^2 x.$

Ответ: $q=\frac{1}{8}.$

4. Найти работу поля $\vec{F}=(x^2-y^2)\vec{i}+(x^2+y^2)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге эллипса $x=2\cos t, y=\sin t$ от $A(2;0)$ до $B(0;1)$. Найти циркуляцию $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABDA$, составленному из дуги $\overset{\smile}{AB}$ и прямых BD и DA, если D (0;-1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$.

Ответ: $W=\frac{5}{3};\quad \Pi=\frac{19}{3};\quad Ц=\frac{14}{3}.$

5. Найти массу тела, ограниченного поверхностями $z=\sqrt{x}, z=2\sqrt{x}, x+y=6, y=0,$ если плотность массы $\delta=2z.$

Ответ: $m=108.$

6. Найти координаты центра массы части однородной поверхности $z=\sqrt{x^2+y^2}$, вырезанной поверхностью $x^2+y^2=ax.$

Ответ: $C\left(\frac{a}{2};0;\frac{16a}{9\pi}\right).$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}=\sqrt{x^2+y^2+z^2}(3\vec{i}+2\vec{j}-4\vec{k})$ в точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_0(1,-2,-2).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=\frac{7}{3};\ rot\vec{a}(M_0)=\frac{1}{3}(12\vec{i}-2\vec{j}+8\vec{k}).$

Вариант 4

1. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной кривыми $y = x^2, y = 2x^2, x = 1, x = 2.$

Ответ: $c\left(\frac{45}{28}; \frac{279}{70}\right).$

2. Найти момент инерции относительно начала координат фигуры $x^2 + y^2 \le 2Rx,$ если поверхностная плотность массы $\delta = \sqrt{x^2 + y^2}.$

Ответ: $J_0 = \frac{512R^5}{75}.$

3. Найти массу участка кривой $\begin{cases} x = \cos t \\ y = \sin t, 0 \le t \le \pi \end{cases}$, если линейная плотность массы $\delta = y.$

Ответ: $m = 2.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = y(x-y)\vec{i} + x\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y = 2x^2$ от O (0,0) до B (1,2). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, составленному из дуги $\overset{\cup}{OB}$ параболы и прямых BD и DO, если D (-1,2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{OB}$.

Ответ: $W = \frac{31}{30}; \quad Ц = \frac{241}{30}; \quad П = \frac{47}{30}.$

5. Найти объем тела, ограниченного поверхностями: $z = \sqrt{x}, z = 2\sqrt{x}, x + y = 6, y = 0.$

Ответ: $V = \frac{48\sqrt{6}}{5}.$

6. Найти электрический заряд части конической поверхности $z = \sqrt{y^2 + x^2},$ отсеченной цилиндром $x^2 + y^2 = 2ax,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = -(x^2 + y^2 + z).$

Ответ: $q = -3\sqrt{2}\pi a^4.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = x^2yz\vec{i} + xy^2z\vec{j} + xyz^2\vec{k}$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1,2,3).$

Ответ: $diva(M_0) = 36, rot\vec{a}(M_0) = 5\vec{i} - 16\vec{j} + 9\vec{k}.$

Вариант 5

1. Найти абсциссу центра массы фигуры, ограниченной линиями $y = \ln x, y = 0, y = 1, x = 0,$ если поверхностная плотность массы $\delta = e^y$.

Ответ: $\bar{x} = \frac{e}{3} + \frac{1}{3(e+1)}$.

2. Найти электрический заряд фигуры $x^2 + y^2 \le 2Rx, y \ge 0,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Ответ: $q = \frac{16}{9}R^3$.

3. Найти момент инерции первого витка однородной винтовой линии $x = a\cos t,\ y = a\sin t,\ z = \frac{h}{2\pi}t$ относительно оси *oz*. Линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_z = a^2 \cdot \sqrt{4\pi^2 a^2 + h^2}$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = x(y-1)\vec{i} + x^2\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y = x^2$ от *B* (-2;4) до *C* (2,4). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, составленному из дуги $\overset{\cup}{BC}$ параболы и прямой *CB*. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{BC}$ параболы.

Ответ: *W* = 0, Ц = 0, П = -9,6.

5. Найти момент инерции относительно оси *Oy* однородного тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = R^2,\quad z = 0,\quad z = H,$ если масса тела равна *m*.

Ответ: $J_y = \frac{m}{12}\left(3R^2 + 4H^2\right)$.

6. Найти массу части поверхности $z = \sqrt{4 - x^2}$, отсеченной плоскостями *y* = 0, *y* = 5, *x*=0, *z*=0 *и расположенной в первой октанте,* если поверхностная плотность массы $\delta = z(x + y)$.

Ответ: *m* = 70.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}$, если $\vec{a} = \vec{b} \times \vec{c}$, где $\vec{a} = -(2x^2 + 3y^2)\vec{i} + 2x^2\vec{j} - (2x^2 + y^2)\vec{k},\ \vec{b} = x^2\vec{i} + y^2\vec{j} - x^2\vec{k},\ \ \vec{c} = \vec{i} - 2\vec{j} - 3\vec{k}$ в точке *M (x ,y ,z)* и в точке M_0 (1,-1,1).

Ответ: $div\vec{a} = -4x,\ \ rot\vec{a} = -2y\vec{i} + 4x\vec{j} + (4x + 6y)\vec{k}$.

Вариант 6

1. Найти электрический заряд фигуры, ограниченной линиями $y = \frac{x}{2}, y = \sqrt{\frac{x}{2}}$, если поверхностная плотность заряда $\lambda = -(xy^2 + 1)$.

Ответ: $q = -\frac{47}{105}$.

2. Найти массу фигуры $1 \le x^2 + y^2 \le 9, \quad 0 \le x \le y,$ если поверхностная плотность массы $\delta = \frac{x}{y}$.

Ответ: $m = 2\ln 2$.

3. Найти момент инерции линии $y = e^x, \quad 0 \le x \le \frac{1}{2}$ относительно оси ox, если линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_x = \frac{1}{3}\left((1+e)^{\frac{3}{2}} - 2\sqrt{2}\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x + 2y)\vec{i} + (x - y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге эллипса $x = 4\cos t$, $y = 3\sin t$ от B (0,3) до C (-4,0). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, составленному из дуги эллипса $\overset{\cup}{BC}$ и прямых CD и DB, если D (0;-2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{BC}$ эллипса.

Ответ: $W = \frac{25 - 6\pi}{2}$, Ц $= -4 - 3\pi$, П $= -17$.

5. Найти координаты центра массы однородного тела, ограниченного поверхностями $x = 3 - y^2 - z^2, x = 0$.

Ответ: C (1,0,0).

6. Найти площадь части плоскости $z = 4 - x$, вырезанной поверхностями $z = 0$, $x = y^2$.

Ответ: $S = \frac{32\sqrt{2}}{3}$.

6. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = -\left(3\frac{y}{x} + 2\frac{x}{y}\right)\vec{i} + 2\frac{x}{y}\vec{j} - \left(2\frac{x}{y} + \frac{y}{x}\right)\vec{k}$ в точке M (x, y, z) и в точке $M_0(1,1,1)$.

Ответ: $diva(M_0) = -1, rota(M_0) = \vec{i} + \vec{j} + 3\vec{k}$.

Вариант 7

1. Найти абсциссу центра массы однородной фигуры

Ответ: $\bar{x} = \dfrac{(4-\pi)(\sqrt{2}+1)}{4}$.

2. Вычислить площадь фигуры, ограниченной кардиоидой $\rho = 4(1+\cos\varphi)$ и прямой $\rho\cos\varphi = 3$ и расположенной справа от прямой.

Ответ: $S = 8\pi + 9\sqrt{3}$.

3. Найти координаты центра массы однородной кривой $\begin{cases} x = a\cos^3 t \\ y = a\sin^3 t \end{cases}, 0 \le t \le \dfrac{\pi}{2}$.

Ответ: $C\left(\dfrac{2a}{5}; \dfrac{2a}{5}\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (xy - y^2)\vec{i} + x\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y = 2\sqrt{x}$ от *O* (0,0) до *B* (1,2). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *OCBO*, состоящему из дуги *BO* параболы и прямых *OC* и *CB*, если *C* (1; -1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{OB}$ параболы.

Ответ: $W = -\dfrac{8}{15}, \text{Ц} = \dfrac{71}{30}, \text{П} = \dfrac{13}{6}$.

5. Вычислить электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = 1, x^2 + y^2 = 3z, x = 0, y = 0, z = 0$ и расположенного в первом октанте $(x \ge 0, y \ge 0, z \ge 0)$, если плотность заряда $\lambda = -x$.

Ответ: $q = -\dfrac{1}{15}$.

6. Найти массу части плоскости $x + y + z = 4$, вырезанной цилиндром $x^2 + y^2 = 4$, если поверхностная плотность массы $\delta = (x^2 + y^2)^2 + z^2$.

Ответ: $m = \dfrac{280}{3}\pi\sqrt{3}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}(2\vec{i} - 4\vec{j} + \vec{k})$ в точке $M(x, y, z)$ и $M_0(-2,2,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -\dfrac{11}{3}; rot\vec{a}(M_0) = \dfrac{1}{3}(6\vec{i} + 4\vec{j} + 4\vec{k})$.

Вариант 8

1. Найти ординату центра массы однородной фигуры $0 \le x \le \frac{\pi}{4}, 0 \le y \le \sin x.$

Ответ: $\bar{y} = \frac{(\pi - 2)(2 + \sqrt{2})}{16}.$

2. Найти момент инерции однородной фигуры $x^2 + y^2 \le 2y, y \ge 1$ относительно оси O*x*, если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $J_x = \frac{15\pi + 20}{24}.$

3. Найти длину дуги астроиды $\begin{cases} x = a\cos^3 t \\ y = a\sin^3 t \end{cases}.$

Ответ: $l = 6a.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x + 3y)\vec{i} + (y + 2x)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y = \frac{x + x^2}{2}$ от *B* (-1,0) до *O* (0,0). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *OCBO*, состоящему из дуги *BO* параболы и прямых *OC* и *CB*, где *C* (-1,2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{BO}$.

Ответ: $W = -\frac{7}{12}$; Ц $= -\frac{13}{12}$; П $= -\frac{7}{6}.$

5. Вычислить электрический заряд тела, ограниченного плоскостями $x + y + z = 2$, $x = 0$, $z = 0$, $x - y = 0$, если плотность заряда $\lambda = -x.$

Ответ: $q = \frac{1}{6}.$

6. Найти массу полусферы $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$, если поверхностная плотность массы $\delta = z \cdot \sqrt{x^2 + y^2}.$

Ответ: $m = \frac{2}{3}\pi R^4.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = arctg\frac{z}{x + y}(2\vec{i} + \vec{j} + \vec{k})$ в точке *M(x,y,z)* и в точке $M_0(1,1,1).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -\frac{1}{5}$; $rot\vec{a}(M_0) = \frac{1}{5}(-3\vec{i} + 5\vec{j} + \vec{k}).$

Вариант 9

1. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной линиями $\sqrt{2y} = x, y = 2, x = 0.$

Ответ: $C\left(\frac{3}{4}, \frac{6}{5}\right).$

2. Найти электрический заряд кольца $\frac{\pi^2}{4} \le x^2 + y^2 \le 4\pi^2,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = \cos\sqrt{x^2 + y^2}$.

Ответ: $q = 2\pi - \pi^2.$

3. Найти электрический заряд участка кривой $\begin{cases} x = t^3 \\ y = t \\ z = t^2, \end{cases} \quad 0 \le t \le 1,$ если линейная плотность заряда $\lambda = \sqrt{1 + 4z + 9xy}$.

Ответ: $q = -\frac{62}{15}.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (2x + y)\vec{i} + (2x - y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y = 2x - x^2$ от *O* (0,0) до *B* (2,0). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\smile}{BO}$ и прямых *OC* и *CB*, если *C* (2;-1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{OB}$.

Ответ: $W = \frac{8}{3}; Ц = \frac{7}{3}; \quad П = \frac{16}{3}.$

5. Найти массу тела, ограниченного поверхностями $y = \sqrt{x^2 + z^2}, y = b,$ если плотность массы $\delta = y.$

Ответ: $m = \frac{\pi b^4}{4}.$

6. Найти момент инерции относительно оси *Oz* части однородной поверхности сферы $x^2 + y^2 + z^2 = R^2, z \ge h,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $J_z = \frac{2\pi R}{3}(R - h)(2R^2 - Rh - h^2).$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (2y^2 - 3x^2)\vec{i} - x^2\vec{j} + (y^2 - 3x^2)\vec{k}$ в точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_o(1,3,-2).$

Ответ: $div\vec{a}(M_o) = -6, rot\vec{a}(M_o) = +6\vec{i} + 6\vec{j} - 14\vec{k}.$

Вариант 10

1. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной линиями $y = \sqrt{2x},\ x = 2, y = 0.$

Ответ: $C\left(\frac{6}{5}, \frac{3}{4}\right).$

2. Найти момент инерции однородного круга $x^2 + y^2 \le 2Ry$ относительно оси Оx, если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $J = \frac{5}{4}\pi R^4.$

3. Найти массу кривой $\sqrt{x} + \sqrt{y} = a, 0 \le x \le a,$ если линейная плотность массы $\lambda = \sqrt{\frac{x^3}{x+y}}.$

Ответ: $m = \frac{a^2}{2}.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x+2y)\vec{i} + (x-y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге эллипса $x = \cos t, y = 2\sin t$ от B (0;-2) до A (1;0). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $BACB$, состоящему из дуги $\overset{\cup}{BA}$ и прямых AC и CB, если C (0;1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{BA}$.

Ответ: $W = \frac{5-\pi}{2};\ \text{Ц} = -\frac{1+\pi}{2}; \Pi = \frac{9}{2}.$

5. Найти координаты центра массы однородного тела, ограниченного плоскостями $z = 0, z = ky$ и цилиндрической поверхностью $y = \sqrt{a^2 - x^2}.$

Ответ: $C\left(0; \frac{3}{16}\pi a;\ \frac{3}{32}\pi ak\right).$

6. Найти электрический заряд части поверхности $2z = 9 - x^2 - y^2,$ отсекаемой плоскостью $z = 0,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = x^2 + y^2 + z - 2.$

Ответ: $q = \frac{\pi}{15}(500\sqrt{10} - 23).$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = \frac{2\vec{i} + \vec{j} - \vec{k}}{x^2 + y^2 + z^2}$ в произвольной точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_0(1,1,1).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -\frac{4}{9}; rot\vec{a}(M_0) = \frac{1}{9}(4\vec{i} - 6\vec{j} + 2\vec{k});$

Вариант 11

1. Вычислить массу плоской фигуры, ограниченной линиями $y = \frac{2}{3}\sqrt{9 - x^2}$, $y = 2x$, $x = 0$, если поверхностная плотность массы $\delta = y$.

Ответ: $m = \frac{4}{\sqrt{10}}$.

2. Найти момент инерции относительно оси Oy однородной фигуры $x^2 + y^2 \le 2x, x \ge 1,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_y = \frac{15\pi + 32}{24}$.

3. Найти массу кривой $y = \sqrt{x - x^2}$, если линейная плотность массы $\delta = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Ответ: $m = 1$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x^2 + y^2)\vec{i} + (y^2 - x^2)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге эллипса $x = 2\cos t$, $y = \sin t$ из A (0;-1) в B (2,0). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABCA$, состоящему из дуги AB эллипса и прямых BC и CA, если C (-2,0). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = \frac{5}{3}$; $\text{Ц} = -\frac{10}{3}$; $\text{П} = -\frac{13}{3}$.

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $z = x^2 + y^2, y = x^2, z = 0, y = 1,$ если плотность заряда $\lambda = 3x + 4y$.

Ответ: $q = \frac{160}{63}$.

6. Найти координаты центра массы части однородной конической поверхности $x^2 + y^2 - z^2 = 0,$ находящейся между плоскостями $z = 0$, $z = h$.

Ответ: $C\left(0,0,\frac{2h}{3}\right)$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\,(3\vec{i} - 3\vec{j} + \vec{k})$ в точке $M(x, y, z)$ и в точке M_0 (2; -2,1).

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = \frac{13}{3}$; $rot\vec{a}(M_0) = \frac{1}{3}(\vec{i} + \vec{j})$.

Вариант 12

1. Вычислить координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной эллипсом $y = \frac{b}{a}\sqrt{a^2 - x^2}$ и осью абсцисс.

Ответ: $C\left(0; \frac{4b}{3\pi}\right)$.

2. Найти момент инерции относительно начала координат однородного круга $x^2 + y^2 \le 4y$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_0 = 24\pi$.

3. Найти электрический заряд линии $\begin{cases} x = t\cos t \\ y = t\sin t, 0 \le t \le 2\pi, \\ z = t \end{cases}$ если плотность заряда $\lambda = -z$.

Ответ: $q = \frac{\sqrt{8}}{3} - \frac{1}{3}\sqrt{(2 + 4\pi^2)^3}$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (2x + y)\vec{i} + (2x - 3y)\vec{j}$ при перемещении точки от A (1,0) до B (-1,0) по параболе $y = 1 - x^2$. Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ параболы и прямых BC и CA, если C (-1;-1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{BA}$.

Ответ: $W = \frac{4}{3}$; Ц $= \frac{7}{3}$; П $= -\frac{4}{3}$.

5. Найти статический момент относительно плоскости xOz однородного тела, ограниченного поверхностями $x = \sqrt{y}$, $x = 2\sqrt{y}$, $z = 0$, $y + z = 6$, если плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $M_{xz} = \frac{864\sqrt{6}}{35}$.

6. Найти массу части поверхности $z = \frac{x^2 + y^2}{2}$, отсеченной плоскостью $z = 1$, если поверхностная плотность массы $\delta = z$.

Ответ: $m = \frac{4\pi(6\sqrt{3} + 1)}{15}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (x^2 + 2y^2)\vec{i} - 2y^2\vec{j} + \frac{2y^2 - x^2}{z}\vec{k}$ в произвольной точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_0(1,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -3, rot\vec{a}(M_0) = 4\vec{i} + 2\vec{j} - 4\vec{k}$.

Вариант 13

1. Найти электрический заряд треугольной пластины с вершинами A (-2;-2), B (-1;2), C (-1; $-\frac{3}{2}$), если поверхностная плотность заряда $\lambda = 2x + y$.

Ответ: $q = -\frac{133}{24}$.

2. Найти момент инерции однородной фигуры, ограниченной кардиоидой относительно оси ox, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_x = \frac{21\pi a^4}{32}$.

3. Найти координаты центра массы кривой $\begin{cases} x = e^t \cos t \\ y = e^t \sin t \end{cases}, 0 \le t \le \frac{\pi}{2}$, если линейная плотность массы $\delta = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}$.

Ответ: $C\left(\frac{e^{\frac{\pi}{2}} - 1}{\pi}; \frac{e^{\frac{\pi}{2}} + 1}{\pi}\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x^2 - 2xy)\vec{i} + (y^2 - 2xy)\vec{j}$ при перемещении точки по гиперболе $y = \frac{2}{x}$ от A (1,2) до B (2,1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABCA$, состоящему из дуги гиперболы $\overset{\cup}{AB}$ и прямых BC и CA, если C (2,3). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = 0$; Ц $= -\frac{2}{3}$; П $= -4$.

5. Найти статический момент относительно плоскости yoz однородного тела, ограниченного поверхностями $y = \sqrt{x}, y = 2\sqrt{x}, z = 0, x + z = 6,$ если плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $M_{yz} = \frac{864\sqrt{6}}{35}$.

6. Найти массу части конической поверхности $z = \sqrt{2xy},$ отсекаемой плоскостью $x + y = 1,$ если поверхностная плотность массы $\delta = \sqrt{2xy}.$

Ответ: $m = \frac{1}{3}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (y^2 - 3x^2)\vec{i} + x^2\vec{j} + (2y^2 - 3x^2)\vec{k}$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1,-1,1)$.

Ответ: $diva(M_0) = -6, rot\vec{a} = -4\vec{i} + 6\vec{j} + 4\vec{k}$.

Вариант 14

1. Найти момент инерции относительно оси *oy* однородного треугольника с вершинами *A* (,1); *B* (1,2); *C* (3,3), если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_y = 3.$

2. Найти статический момент относительно оси *Ox* однородной фигуры $1 \le x^2 + y^2 \le 2y,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $M_x = \dfrac{8\pi + 3\sqrt{3}}{12}.$

3. Найти длину дуги кривой $\begin{cases} x = e^t \cos t \\ y = e^t \sin t \\ z = e^t \end{cases}$ при $-\infty < t \le 0.$

Ответ: $l = \sqrt{3}.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x^2 - 2xy)\vec{i} + (y^2 - 2xy)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге гиперболы $y = \dfrac{2}{x}$ от *A* (-2,-1) до *B* (-1,-2). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *ABCA*, состоящему из дуги гиперболы $\overset{\cup}{AB}$ и прямых *BC* и *CA*, если *C* (1;-1). Найти поток вектора через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = 0;$ Ц = 2; $\Pi = -4.$

5. Вычислить массу тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = 2z,$ z = 2, если плотность массы $\delta = x^2 + y^2.$

Ответ: $m = \dfrac{16\pi}{3}.$

6. Найти электрический заряд части поверхности конуса $x = \sqrt{y^2 + z^2},$ вырезанной цилиндром $y^2 + z^2 = 2ay,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = x^2 + y^2 + z^2.$

Ответ: $q = \dfrac{3\pi a^4}{\sqrt{2}}.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = arctg\dfrac{z}{x+y}(\vec{i} - \vec{j} + \vec{k})$ в точках

M (x, y, z) и M_0 (1,1,1).

Ответ: $diva(M_0) = \dfrac{2}{5},\ rota(M_0) = \dfrac{1}{5}(i + 3j + 2k).$

Вариант 15

1. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной линиями $y^2 = 3x, y = x,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $C\left(\frac{6}{5}, \frac{3}{2}\right).$

2. Найти момент инерции относительно начала координат однородной фигуры, ограниченной кривой $\rho = 2a\cos\varphi,$ если плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $J_0 = \frac{3}{2}\pi a^4.$

3. Найти массу участка кривой $y = -\ln\cos x, 0 \le x \le \frac{\pi}{4},$ если линейная плотность массы $\delta = \sin^2 x \cdot \cos^2 x.$

Ответ: $m = \frac{\sqrt{2}}{12}.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = \frac{1}{x}\vec{i} + \frac{1}{y}\vec{j}$ при перемещении точки по дуге окружности $x = 2\cos t, y = 2\sin t$ от $A(\sqrt{3}, 1)$ до $B(1, \sqrt{3})$. Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ACBA$, состоящему из дуги $\overset{\smile}{BA}$ окружности и прямых AC и CB, где $C(\sqrt{3}; \sqrt{3})$. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$ окружности.

Ответ: $W = 0,$ Ц $= 0,$ $\Pi = \frac{\pi}{3}.$

5. Найти заряд тела, ограниченного плоскостями $x = 0, y = 0, z = 0, y = h, x + z = a,$ если плотность заряда $\lambda = -x.$

Ответ: $q = -\frac{a^3 h}{6}.$

6. Вычислить массу участка поверхности $z = \sqrt{x^2 + y^2},$ отсеченного плоскостью $z = 1,$ если поверхностная плотность массы $\delta = x^2 + y^2 + 3z^2.$

Ответ: $m = 2\pi\sqrt{2}.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (\vec{i} + 2\vec{j} + k)\ln(x + 2y + 3z)$ в произвольной точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_1(1,1,1).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = \frac{4}{3}; rot\vec{a}(M_0) = \frac{-2i + j}{3};$

Вариант 16

1. Найти координаты центра массы фигуры, ограниченной линиями $x^2 = 3y$, $x = y$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $C\left(\frac{3}{2};\frac{6}{5}\right)$.

2. Найти массу круга радиуса *R*, плотность массы которого в каждой точке равна расстоянию от этой точки до окружности.

Ответ: $m = \frac{\pi R^3}{3}$.

3. Найти статический момент кривой $\begin{cases} x = 4\cos t \\ y = \sin t \end{cases}, 0 \le t \le \frac{\pi}{2}$ относительно оси *ox*, если линейная плотность массы $\delta = x$.

Ответ: $M_x = 5{,}6$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = \frac{x}{y}\vec{i} - \frac{y}{x}\vec{j}$ при перемещении точки по дуге гиперболы $y = -\frac{2}{x}$ от *A* (1;-2) до *B* (2;-1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *ACBA*, состоящему из дуги гиперболы $\overset{\cup}{BA}$ и прямых *AC* и *CB*, где $C(-2;-2)$. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$ гиперболы.

Ответ: $W = 0, \quad Ц = 0, \quad П = 2$.

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = 2x$, $z = 0$, $z = 3$, если плотность заряда $\lambda = -z\sqrt{x^2 + y^2}$.

Ответ: $q = -8$.

6. Найти момент инерции относительно оси *oz* однородной полусферы $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_z = \frac{4}{3}\pi R^4$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (y^2 + 3x^2)\vec{i} - 3x^2\vec{j} + (3x^2 - 2y^2)\vec{k}$ в точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_0(2,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = 12, rot\vec{a}(M_0) = -4\vec{i} - 12\vec{j} - 14\vec{k}$.

Вариант 17

1. Найти момент инерции относительно оси *Ox* плоской однородной фигуры, ограниченной кривыми $y=\sqrt{2x},\ x+y=3,\ y=0$, если поверхностная плотность массы $\delta=1$.

Ответ: $J_x=1{,}4$.

2. Найти массу фигуры $x^2+y^2\le 4x,$ если поверхностная плотность массы $\delta=x^2$.

Ответ: $m=20\pi$.

3. Найти координаты центра массы однородной полуокружности $y=\sqrt{a^2-x^2}$.

Ответ: $C\left(0;\frac{2a}{\pi}\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F}=\frac{x\vec{i}-y\vec{j}}{x^2+y^2}$ при перемещении точки по дуге окружности $x=3\cos t, y=3\sin t$ от $A(3,0)$ до $B(0,3)$. Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *ACBA*, состоящему из дуги $\overset{\smile}{BA}$ окружности и прямых *AC* и *CB*, если *C*(3,3). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$ окружности.

Ответ: $W=-1,\quad \text{Ц}=1-\ln 2,\quad \Pi=0$.

5. Найти статический момент относительно плоскости *yoz* тела, ограниченного поверхностями $z=\frac{1}{2}x^2, x=0, y=0, z=0, 3x+2y=12,$ если плотность массы $\delta=1$.

Ответ: $M_{yz}=\frac{192}{5}$.

6. Найти электрический заряд части поверхности $z=1-(x^2+y^2),$ отсеченной плоскостью $z=0,$ если плотность заряда $\lambda=\sqrt{1+4x^2+4y^2}$.

Ответ: $q=3\pi$.

7. Найти дивергенцию и ротор поля $\vec{a}=\sqrt{x^2+y^2+z^2}\,(2\vec{i}+\vec{y}+3\vec{k})$ в точке $M(x,y,z)$ и в точке $M_0(-1;2;2)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=2;\quad rot\vec{a}(M_0)=\frac{1}{3}(4\vec{i}+7\vec{j}-5\vec{k})$.

Вариант 18

1. Вычислить массу четверти кольца $4 \le x^2 + y^2 \le 9, \quad x \le 0, \quad y \ge 0,$ если поверхностная плотность массы $\delta = \dfrac{y - 2x}{x^2 + y^2}$.

Ответ: $m = 3.$

2. Найти координаты центра массы однородной фигуры, $1 \le x^2 + y^2 \le 2y,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1.$

Ответ: $C\left(0; \dfrac{8\pi + 3\sqrt{3}}{4\pi + 6\sqrt{3}}\right).$

3. Найти статический момент относительно оси Oy дуги кривой $\begin{cases} x = 4\cos t \\ y = \sin t, \end{cases}$ $0 \le t \le \dfrac{\pi}{2},$ если линейная плотность массы $\delta = y.$

Ответ: $M_y = 5{,}6.$

4. Найти работу поля $\vec{F} = \cos\sqrt{y}\vec{i} + (x - y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге $\overset{\cup}{BO}$ параболы $y = x^2.$ Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{BOC}$ параболы $y = x^2$ и прямой CB, B (-1, 1), O (0, 0), C (1, 1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{OC}$ параболы.

Ответ: $W = \dfrac{7}{6} + \sin 1, \quad \text{Ц} = \dfrac{4}{3} + 2\sin 1 - 2\cos 1, \quad \Pi = -2(\sin 1 + \cos 1) + \dfrac{1}{6},$

5. Найти момент инерции линии $y = \ln x, 1 \le x \le \sqrt{e},$ относительно оси оу, если линейная плотность $\delta = 1.$

Ответ: $J_y = \dfrac{1}{3}\left((1 + e)^{3/2} - 2\sqrt{2}\right).$

6. Вычислить электрический заряд части поверхности конуса $x = \sqrt{y^2 + z^2}$, отсеченной плоскостью $x = 2,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = -(5x^2 + 3y^2 + 3z^2 + 4).$

Ответ: $q = -80\pi\sqrt{2}.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = (2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\vec{k})\cos(2x + y - z)$ в произвольной точке $M\ (x, y, z)$ и в точке $M_0\left(\dfrac{\pi}{4}; \dfrac{\pi}{4}; \dfrac{\pi}{4}\right).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -3; rot\vec{a}(M_0) = -7\vec{i} + 10\vec{j} - 4\vec{k}.$

Вариант 19

1. Найти электрический заряд фигуры, ограниченной эллипсом $\frac{x^2}{25}+\frac{y^2}{16}=1$ и осями координат, если поверхностная плотность заряда $\lambda.=x$ и фигура расположена при $x\ge 0,\quad y\ge 0.$

Ответ: $q=\frac{100}{3}.$

2. Найти координаты центра массы однородной фигуры $1\le x^2+y^2\le 2x,$ если поверхностная плотность массы $\delta=1.$

Ответ: $C\left(\frac{8\pi+3\sqrt{3}}{4\pi+6\sqrt{3}};0\right).$

3. Найти статический момент относительно оси ox однородной циклоиды $\begin{cases}x=t-\sin t\\ y=1-\cos t\end{cases},\ 0\le t\le 2\pi,$ если линейная плотность массы $\delta=1.$

Ответ: $M_x=\frac{32}{3}.$

4. Найти работу поля $\vec{F}=\frac{y^2\vec{i}+x^2\vec{j}}{xy}$ при перемещении точки по дуге кривой $y=\frac{4}{x^2}$ от *A* (1, 4) до *B* (2, 1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ кривой $y=\frac{4}{x^2}$ и прямых *BC* и *CA*, если *C* (8, 4). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$ этой кривой.

Ответ: $W=-0{,}5;\text{Ц}=8{,}5-\ln 8;\text{П}=7{,}1375.$

5. Вычислить момент инерции относительно оси *oz* однородного цилиндра $x^2+y^2\le 2Ry, 0\le z\le H,$ если масса цилиндра равна *m*.

Ответ: $J_z=\frac{3}{2}mR^2.$

6. Найти массу части поверхности, $z=\sqrt{9-x^2}$ отсеченной плоскостями *y* = 0 и *y* = 3, если поверхностная плотность массы $\delta=\frac{1}{x^2+y^2+z^2}.$

Ответ: $m=\frac{\pi^2}{4}.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}=\left(\frac{y}{x}+\frac{3x}{y}\right)\vec{i}-\frac{3x}{y}\vec{j}+\left(\frac{3x}{y}-\frac{2y}{x}\right)\vec{k}$ в произвольной точке *M* (*x*, *y*, *t*) и в точке $M_0(1,1,1).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=5; rot\vec{a}(M_0)=-5\vec{i}-5\vec{j}-\vec{k}.$

Вариант 20

1. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной кривой $\sqrt{x}+\sqrt{y}=\sqrt{a}$ и осями координат.

Ответ: $C\left(\frac{a}{5};\frac{a}{5}\right)$.

2. Найти статический момент относительно оси Ox однородной фигуры $x^2+y^2\le 2y$, если поверхностная плотность массы $\delta=1$.

Ответ: $M_x=\pi$.

3. Найти момент инерции относительно оси *Ox* одной арки однородной циклоиды $\begin{cases}x=a(t-\sin t)\\ y=a(1-\cos t)\end{cases}$. Линейная плотность массы $\delta=1$.

Ответ: $J_x=\frac{256}{15}a^3$.

4. Найти работу поля $\vec{F}=(x-y^2)\vec{i}+2xy\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y=2-x^2$ от *A* (-1,1) до *B* (1,1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *ACBA*, составленному из дуги $\overset{\cup}{BA}$ параболы и прямых *AC* и *CB*, где *C* (-1; 0). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W=-\frac{142}{15};\text{Ц}=\frac{152}{15};\text{П}=\frac{4}{3}$.

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $x^2+z^2=1, y=0$, $y=1$, если плотность заряда $\lambda=-(x^2+y^2+z^2)$.

Ответ: $q=-\frac{3}{2}\pi$.

6. Найти массу полусферы $z=\sqrt{R^2-x^2-y^2}$, если поверхностная плотность массы $\delta=\frac{z}{R}$.

Ответ: $m=\pi R^2$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}=arctg\frac{x+y}{z}(\vec{i}+2\vec{j}+\vec{k})$ в произвольной точке $M(x, y, z)$ и в точке $M_0(1,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=\frac{1}{5};rot\vec{a}(M_0)=\frac{1}{5}(5\vec{i}-3\vec{j}+\vec{k})$.

Вариант 21

1. Найти массу фигуры, ограниченной эллипсом $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1,$ если плотность массы $\delta=|y|$.

Ответ: $m=\frac{4}{3}ab^2.$

2. Найти электрический заряд, распределенный с поверхностной плотностью $\lambda=\sqrt{1-x^2-y^2}$ в области $x^2+y^2\le y.$

Ответ: $q=\frac{3\pi-4}{9}.$

3. Найти статический момент относительно оси Ox циклоиды $\begin{cases}x=a(t-\sin t)\\y=a(1-\cos t)\end{cases},0\le t\le 2\pi,$ если линейная плотность массы $\delta=y.$

Ответ: $M_x=\frac{512}{15}a^3.$

4. Найти работу поля $\vec{F}=\frac{y^2}{x}\vec{i}+\frac{x^2}{y}\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y=\sqrt{x}$ от $A(1;1)$ до $B(4;2)$. Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $ABCA$, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ параболы и прямых BC и CA, где $C(1;2)$. Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$ параболы.

Ответ: $W=6{,}75,\ Ц=6{,}75-\ln 2-4\ln 4,\ П=\frac{57}{5}.$

5. Найти координаты центра массы однородного тела, ограниченного поверхностями $z=1-\sqrt{x^2+y^2}, z=0.$

Ответ: $C\left(0;0;\frac{1}{4}\right).$

6. Найти момент инерции относительно оси oz , часть однородной поверхности $z=\frac{h}{a}\sqrt{x^2+y^2},$ отсеченной плоскостью $z=h.$

Ответ: $J_z=\frac{1}{2}\pi a^3\sqrt{a^2+h^2}.$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля вектора $\vec{a}$ в точке $M(x,y,z)$ и в точке $M_0(1,1,1)$, если $\vec{a}=\vec{b}\times\vec{c},$ где $\vec{b}=x^2\vec{i}+y^2\vec{j}-x^2\vec{k},\vec{c}=2\vec{i}+3\vec{j}+\vec{k}.$

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=6, rot\vec{a}=(M_0)=-4\vec{i}-6\vec{j}-8\vec{k}.$

Вариант 22

1. Найти электрический заряд фигуры, ограниченной линиями $\sqrt{x}+\sqrt{y}=\sqrt{a}, x=0, y=0,$ если поверхностная плотность заряда $\lambda = x.$

Ответ: $q=\frac{a^3}{30}.$

2. Найти площадь фигуры $1 \le x^2+y^2 \le 2x.$

Ответ: $S=\frac{2\pi+3\sqrt{3}}{6}.$

3. Найти моменты инерции однородной окружности $x^2+y^2=r^2$ относительно осей координат. Масса окружности равна m.

Ответ: $J_x=J_y=\frac{1}{2}mr^2.$

4. Найти работу поля $\vec{F}=xy\vec{i}+(y-x)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $\begin{cases} x=t \\ y=(t+1)^2 \end{cases}$ от A (-1;0) до B (0,1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\smile}{AB}$ параболы и прямых BC и CA, если C (-1;2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$.

Ответ: $W=\frac{3}{4}; Ц=-\frac{5}{12}; П=\frac{14}{15}.$

5. Вычислить массу тела, ограниченного поверхностями $2x + z = 4, x + z = 2, y = \sqrt{2x},$ если плотность $\delta = y.$

Ответ: $m=\frac{4}{3}.$

6. Найти координаты центра массы полусферы $z=\sqrt{R^2-x^2-y^2},$ если поверхностная плотность массы $\delta = x^2+y^2.$

Ответ: $C\left(0,0,\frac{3}{8}R\right).$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $a=\operatorname{grad}\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ в произвольной точке и в точке $M_0(2,2,1).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=\frac{2}{3}; rot\vec{a}(M_0)=0.$

Вариант 23

1. Найти электрический заряд, распределенный в области, ограниченной кривыми $x=0, y=\pi, \quad y=x$ с поверхностной плотностью $\lambda=\cos(x+y)$.

Ответ: $q=-2$.

2. Найти статический момент однородного круга $x^2+y^2\le 2x$ относительно оси оу.

Ответ: $M_y=\pi$.

3. Вычислить массу участка винтовой линии $\begin{cases} x=a\cos t \\ y=a\sin t, 0\le t\le \dfrac{\pi}{2} \\ z=bt \end{cases}$, если линейная плотность массы $\delta=xy$.

Ответ: $m=\dfrac{a^2}{2}\sqrt{a^2+b^2}$.

4. Найти работу поля $\vec{F}=(y-x)\vec{i}+xy\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы y = $(x+1)^2$ от *A* (-2;1) до *B* (0;1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру *ABCA*, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ параболы и прямых *BC* и *CA*, если *C* (0;3). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$ параболы.

Ответ: $W=\dfrac{52}{15}; Ц=-\dfrac{8}{5}; П=\dfrac{22}{3}$.

5. Найти центр массы однородного конуса, ограниченного поверхностями $z=\dfrac{h}{R}\sqrt{x^2+y^2}$, $z = h$.

Ответ: $C=\left(0,0,\dfrac{3}{4}h\right)$.

6. Вычислить момент инерции относительно оси *Oz* части однородной поверхности сферы $x^2+y^2+z^2=R^2, x\ge 0, z\ge 0, y\ge 0,$ если поверхностная плотность массы $\delta=1$.

Ответ: $J_z=\dfrac{\pi R^4}{3}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}=\vec{i}\sin(y^2+3x^2)-\vec{j}\sin(y^2+3x^2)+\vec{k}\sin(3x^2-2y^2)$ в произвольной точке *M*(*x*, *y*, *z*) и в точке $M_0\left(\sqrt{\dfrac{\pi}{3}}; -\sqrt{\dfrac{\pi}{3}};0\right)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=-4\sqrt{\dfrac{\pi}{3}}; rot\vec{a}(M_0)=\sqrt{\dfrac{\pi}{3}}(2\vec{i}-3\vec{j}+2\vec{k})$.

Вариант 24

1. Найти массу, распределенную в области, ограниченной линиями $y=1, y=2, x=0$, $y = e^x$ с поверхностной плотностью $\delta = e^x$.

Ответ: $m = \frac{1}{2}$.

2. Найти момент инерции относительно начала координат однородной фигуры, ограниченной одним лепестком лемнискаты $\rho = a\sqrt{\cos 2\varphi}, -\frac{\pi}{2} \le \varphi \le \frac{\pi}{2}$.

Ответ: $J_0 = \frac{\pi a^4}{4}$.

3. Найти координаты центра массы однородной циклоиды $\begin{cases} x = a(t - \sin t) \\ y = a(1 - \cos t) \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi$, если линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $C\left(\pi a, \frac{4}{3}a\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (xy + x + y)\vec{i} + (xy + x - y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $x = \sqrt{y}$ от O(0,0) до A(2,4). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $OACO$, состоящему из дуги OA параболы и прямых AC и CO, если C (0,2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{OA}$ в сторону выпуклости дуги.

Ответ: $W = 18{,}8; \Pi = 22{,}8; Ц = \frac{52}{15}$.

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $y = \sqrt{x}, y = 2\sqrt{x}, z = 0, x + z = 6,$ если плотность заряда $\lambda = x$.

Ответ: $q = \frac{864\sqrt{6}}{35}$.

6. Найти координаты центра массы части поверхности $z = \frac{x^2 + y^2}{2}$ при $z \le 1$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $C\left(0, 0, \frac{6\sqrt{3}+1}{5(3\sqrt{3}-1)}\right)$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}$, если $\vec{a} = \vec{b} \times \vec{c}$, где $\vec{b} = x^2\vec{i} + y^2\vec{j} - x^2\vec{k}, \vec{c} = \vec{i} - \vec{j} + 2\vec{k}$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1, -1, 1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_o) = -2, rot\vec{a}(M_0) = 2\vec{i} + 2\vec{j} - 2\vec{k}$.

Вариант 25

1. Найти статический момент относительно оси *Ox* массы, распределенной с плотностью $\delta = \frac{1}{x}$ в области, ограниченной линиями $y = x, y = 2x, x = 1, x = 2.$

Ответ: $M_x = 2{,}25.$

2. Вычислить момент инерции однородного круга радиуса *R* массы *m* относительно начала координат.

Ответ: $J_0 = \frac{1}{2}mR^2.$

3. Вычислить массу участка кривой $y = 0{,}5x^2, 0 \le x \le 1,$ если линейная плотность массы $\delta = \sqrt{2y}$.

Ответ: $m = \frac{1}{3}(2\sqrt{2} - 1).$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (x^3 - y)\vec{i} + (y^3 + x)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге окружности $x = R\cos t, y = R\sin t$ от *A*(*R*,0) до *B*(0,*R*). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\smile}{BA}$ окружности и прямых *AC* и *CB*, где *C*(2*R*, *R*). Найти поток вектора *R* через дугу $\overset{\smile}{AB}$ окружности.

Ответ: $W = \frac{\pi R^2}{2}; \text{Ц} = R^2(3 - \frac{\pi}{2}); \Pi = \frac{3\pi R^4}{8}.$

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $z = \sqrt{x}, z = 2\sqrt{x}, y + x = 6, y = 0$, если плотность заряда $\lambda = z.$

Ответ: $q = 54.$

6. Найти координаты центра массы части однородной полусферы $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2},$ вырезанной плоскостями $x = 0, y = 0, x + y = R, (x \ge 0, y \ge 0, x + y \le R).$

Ответ: $C\left(\frac{R\sqrt{2}}{4}, \frac{R\sqrt{2}}{4}, \frac{R}{\pi(\sqrt{2} - 1)}\right).$

7.Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}(\vec{i} - 2\vec{j} + 2\vec{k})$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1,1,1).$

Ответ: $div\,\vec{a}(M_0) = \frac{\sqrt{3}}{3}, \quad rot\,\vec{a}(M_0) = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(4\vec{i} - \vec{j} - 3\vec{k}\right).$

Вариант 26

1. Найти момент инерции относительно оси *Ox* однородной полукруглой пластинки $0 \le y \le \sqrt{R^2 - x^2}$. Поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_{ox} = \dfrac{\pi R^4}{8}$.

2. Найти координаты центра массы плоской однородной фигуры, ограниченной кривой $\rho = a(1 + \cos\varphi)$.

Ответ: $C\left(\dfrac{5a}{6}; 0\right)$.

3. Найти статический момент относительно оси *Ox* однородной дуги астроиды $\begin{cases} x = a\cos^3 t \\ y = a\sin^3 t \end{cases}, 0 \le t \le \dfrac{\pi}{2},$ если линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $M_x = \dfrac{3a^2}{5}$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = y^2 \ln x\vec{i} + xy\vec{j}$ при перемещении точки по дуге гиперболы $y = \dfrac{1}{x}$ от *A* (1;1) до $B\left(2; \dfrac{1}{2}\right)$. Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{BA}$ гиперболы и прямых *AC* и *CB*, если *C* (1; $-\dfrac{1}{2}$). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = -\dfrac{\ln 2}{2}$; Ц $= \dfrac{2}{3}\ln 2 - \dfrac{170}{72}$; П $= \dfrac{-3\ln 2 + 79}{72}$.

5. Найти электрический заряд тела, ограниченного поверхностями $z = \dfrac{1}{2}x^2$, $x = 0$, $y = 0$, z = 0, $3x + 2y = 12$, если плотность заряда $\lambda = x$.

Ответ: $q = \dfrac{192}{5}$.

6. Найти площадь части цилиндрической поверхности $z = \sqrt{a^2 - x^2}$, заключенной между плоскостями $y = x$ и $y = 0$.

Ответ: $S = 2a^2$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля:

$\vec{a} = y^2\vec{i} - x^2\vec{j} + z^2\vec{k}$ в точках *M* (*x*, *y*, *z*) и $M_0(2,3,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = 0; rot\vec{a}(M_0) = -10\vec{k}$.

Вариант 27

1. Найти координаты центра масс однородной плоской фигуры, ограниченной линиями $y = \frac{2}{3}\sqrt{9 - x^2}$, $y = 0$.

Ответ: $C\left(0; \frac{8}{3\pi}\right)$.

2. Найти массу, распределенную в области $2x \le x^2 + y^2 \le 4x, \quad \frac{x}{\sqrt{3}} \le y \le x\sqrt{3},$ с поверхностной плотностью $\delta = \operatorname{arctg}\frac{y}{x}$.

Ответ: $m = \frac{\pi^2 + \pi\sqrt{3} - 6}{8}$.

3. Найти статический момент относительно оси Oy однородной дуги астроиды $\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{y^2} = 1, 0 \le x \le 1,$ если линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $M_y = \frac{3}{5}$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = x^2 y\vec{i} - xy^2\vec{j}$ при перемещении точки по дуге окружности $x = 2\cos t$, $y = 2\sin t$ от A (-2,0) до B (0,-2). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\smile}{AB}$ окружности и прямых BC и CA, где C (-2,2). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{AB}$.

Ответ: $W = -2\pi; \text{Ц} = -\frac{6\pi + 8}{3}; \text{П} = -2.$

5. Найти электрический заряд части шара $x^2 + y^2 + z^2 \le R^2,$ расположенной в первом октанте $(x \ge 0, y \ge 0, z \ge 0),$ если плотность заряда $\lambda = -z$.

Ответ: $q = -\frac{\pi R^4}{16}$.

6. Найти момент инерции относительно оси Oz части однородной поверхности $x^2 + y^2 = 2az, \ 0 \le z \le a,$ если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_z = \frac{4\pi(6\sqrt{3} + 1)}{15} a^4$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = arctg(x - y + z)(\vec{i} - 3\vec{j} - 2\vec{k})$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = \frac{1}{2}, rot\vec{a}(M_0) = \frac{5}{2}\vec{i} - \frac{3}{2}\vec{j} - \vec{k}.$

Вариант 28

1. Найти массу, распределенную с поверхностной плотностью $\delta = x^2 + y$ в области, ограниченной кривыми $y = x^2, y^2 = x$.

Ответ: $m = \frac{33}{140}$.

2. Найти момент инерции относительно оси *О*у однородного круга $x^2 + y^2 \le 2x$, если поверхностная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $J_y = \frac{5}{4}\pi$.

3. Найти статический момент относительно оси ох однородной дуги астроиды $\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{y^2} = 1$, расположенной в первой четверти $(0 \le x \le 1, y \ge 0)$, если линейная плотность массы $\delta = 1$.

Ответ: $M_x = \frac{3}{5}$.

4. Найти работу поля $\vec{F} = (y^2 - x)\vec{i} + (x^2 - y)\vec{j}$ при перемещении точки по дуге окружности $x = \cos t$, $y = \sin t$ от A (1,0) до B (0,1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{AB}$ окружности и прямых BC и CA, если C (0;-1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{AB}$.

Ответ: $W = 0; Ц = \frac{2}{3}; П = \frac{4 - 3\pi}{6}$.

5. Найти координаты центра массы однородной фигуры, ограниченной поверхностями $x + y + z = 1, x = 0, y = 0, z = 0$.

Ответ: $C\left(\frac{1}{4}; \frac{1}{4}; \frac{1}{4}\right)$.

6. Найти электрический заряд части плоскости $x + y + z = a$, вырезанной цилиндром $x^2 + y^2 = a^2$, если плотность заряда $\lambda = z^2$.

Ответ: $q = \frac{3\sqrt{3}}{2}\pi a^4$.

8. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = xyz(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})$ в точках $M(x, y, z)$ и $M_0(1, 2, 3)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = 36, rot\vec{a}(M_0) = 5\vec{i} - 16\vec{j} + 9\vec{k}$.

Вариант 29

1. Найти электрический заряд фигуры, ограниченной линиями $x=1, \sqrt{y}=x, y=-\sqrt[3]{x}$, если поверхностная плотность заряда $\lambda = xy-(xy)^3$.

Ответ: $q=-\frac{5}{64}$.

2. Найти электрический заряд, распределенный в области $x^2+y^2 \le 2x$ с поверхностной плотностью $\lambda = \sqrt{4-x^2-y^2}$.

Ответ: $q=\frac{8}{9}(3\pi-4)$.

3. Найти координаты центра масс дуги окружности $\begin{cases} x=a\cos t \\ y=a\sin t \end{cases}, 0 \le t \le \frac{\pi}{2}$, если линейная плотность массы $\delta = xy$.

Ответ: $C\left(\frac{2a}{3};\frac{2a}{3}\right)$.

4. Найти работу поля $\vec{F}=xy^2\vec{i}+2x^2y\vec{j}$ при перемещении точки по дуге параболы $y=-\sqrt{x}$ от O (0;0) до B (1;-1). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру, состоящему из дуги $\overset{\cup}{OB}$ параболы и прямых BC и CO, если C (1;1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\cup}{OB}$.

Ответ: $W=\frac{2}{3}; Ц=-\frac{1}{12}; П=-\frac{13}{35}$.

5. Найти ординату центра массы однородного тела, ограниченного поверхностями $z=\frac{1}{2}y^2, x=0, y=0, z=0, 2x+3y=12$.

Ответ: $y_0=\frac{12}{5}$.

6. Найти массу части плоскости $2x+2y+z-4=0$, расположенной в первом октанте $(x \ge 0, y \ge 0, z \ge 0)$, если поверхностная плотность массы $\delta = z$.

Ответ: $m=\frac{8}{3}$.

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a}=xy\vec{i}-yz\vec{j}+yz\vec{k}$ в точках $M(x,y,z)$ и $M_0(2,1,1)$.

Ответ: $div\vec{a}(M_0)=1, rot\vec{a}(M_0)=2\vec{i}-2\vec{k}$.

Вариант 30

1. Найти моменты инерции относительно осей координат фигуры, ограниченной линиями $y = 2x - x^2, y = x^2,$ если поверхностная плотность массы в каждой точке фигуры равна ординате точки.

Ответ: $J_x = \frac{31}{420}, J_y = \frac{1}{15}.$

2. Найти объем цилиндрического тела, ограниченного плоскостями $z = 0, z = 3, x + y = 0$ и цилиндрической поверхностью $x = \sqrt{-4y - y^2}$.

Ответ: $V = 3\pi - 6.$

3. Найти электрический заряд, распределенный по кривой $\begin{cases} x = a(\cos t + t\sin t) \\ y = a(\sin t + t\cos t) \end{cases}, 0 \le t \le 2\pi$ с линейной плотностью $\lambda = -(x^2 + y^2).$

Ответ: $q = -2\pi^2 a^3 (1 + 2\pi^2).$

4. Найти работу поля $\vec{F} = (xy + y^2)\vec{i} + x\vec{j}$ при движении точки (m = 1) по параболе $y = 2\sqrt{x}$ от 0 (0,0) до A (1,2). Найти циркуляцию вектора $\vec{F}$ по замкнутому контуру $OACO$, состоящему из дуги $\overset{\smile}{OA}$ параболы и прямых AC и CO, где C (1, -1). Найти поток вектора $\vec{F}$ через дугу $\overset{\smile}{OA}$.

Ответ: $W = \frac{52}{15}; \text{Ц} = \frac{29}{30}; \Pi = -\frac{19}{6}.$

5. Найти центр массы однородного тела, ограниченного поверхностями $z = \sqrt{1 - x^2 - y^2}$, z= 0.

Ответ: $C\left(0,0,\frac{3}{8}\right).$

6. Найти площадь части гиперболического параболоида $az = xy$, вырезанной цилиндром $x^2 + y^2 = R^2.$

Ответ: $S = \frac{2\pi}{3a}(\sqrt{(a^2 + R^2)^3} - a^3).$

7. Найти дивергенцию и ротор векторного поля $\vec{a} = 2x^2 y\vec{i} - yz^2\vec{j} + \frac{x}{y}\vec{k}$ в произвольной точке и в точке $M_0(-1,1,2).$

Ответ: $div\vec{a}(M_0) = -8, rot\vec{a}(M_0) = 5\vec{i} - \vec{j} - 2\vec{k}.$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. Высшая математика в упражнениях и задачах. В 2-х ч. Ч. 2: учебное пособие для втузов. – 6-е изд., испр.- М.: Высш. шк., 2003. – 416 с.:ил.

Исрапилов Р. Б., Баутин С. П. Курс математики. Часть 3. Математический анализ функций нескольких переменных. – Екатеринбург: УГГГА, 1996.

Письменный Д. Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс. -13-е изд.- М.: Айрис-пресс, 2015.- 608 с.: ил.- (Высшее образование).



Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Г. В. Петровских, В. Б. Пяткова,
О. Е. Турова

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

НЕОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……...4
1. НЕОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ ……5
1. 1. Первообразная для функции ……..5
1. 2. Неопределенный интеграл и его свойства …….……...5
1. 3. Таблица основных интегралов ……...……6
2. МЕТОДЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ……7
2. 1. Непосредственное интегрирование ……...7
2. 2. Подведение под знак дифференциала ……..10
2. 3. Замена переменной ……12
2. 4. Интегрирование по частям ……14
2. 5. Интегрирование рациональных дробей ……...19
2. 6. Интегрирование тригонометрических функций ……28
3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯЕТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ……...34
3.1. Непосредственное интегрирование ……....34
3. 2. Подведение под знак дифференциала …….…..37
3. 3. Замена переменной ……..41
3. 4. Интегрирование по частям ……44
3. 5. Интегрирование рациональных дробей ……46
3. 6. Интегрирование тригонометрических функций ……..….51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……53

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии представлены основные теоретические сведения по теме “Неопределенный интеграл”, рассмотрены основные методы интегрирования, разобраны примеры решения задач.

Работа содержит 30 вариантов наборов задач для самостоятельной работы студентов, которые могут быть использованы для контрольных работ.

Рекомендуется для всех специальностей УГГУ.

1. НЕОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ

1.1. Первообразная для функции

Функция $F(x)$ называется первообразной для функции $f(x)$ на интервале (a,b), если $F(x)$ дифференцируема на (a,b) и $F'(x)=f(x)$

Примеры

1. Функции $F(x)=-\cos x,\quad F_1(x)=-\cos x+1,\quad F_2(x)=-\cos x-3$ являются первообразными для функции $f(x)=\sin x$

2. Функции $F(x)=\ln x,\ F_1(x)=\ln x$ являются первообразными для функции $f(x)=\frac{1}{x},\ x>0$

3. Функции $F(x)=\arcsin x,\quad F_1(x)=\arcsin x-0{,}5$ являются первообразными для функции $f(x)=\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$.

Теорема

Если $F(x)$ и $F_1(x)$ - первообразные для функции $f(x)$ на интервале (a,b), то $F_1(x)=F(x)+C$, где $C=\text{const}$.

Таким образом, множество всех первообразных для функции $f(x)$ имеет вид $\{F(x)+C\}$.

1.2. Неопределенный интеграл и его свойства

Неопределенным интегралом функции $f(x)$ на (a,b) называется множество всех её первообразных и обозначается

$$\int f(x)dx = F(x) + C,$$

где $F(x)$ - одна из первообразных для функции $f(x)$.

Примеры

1. $\int \sin x dx = -\cos x + C.$

2. $\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + C.$

3. $\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C, \quad |x| < 1.$

Свойства неопределённого интеграла

1. $\left(\int f(x)dx\right) = f(x).$

2. $d\left(\int f(x)dx\right) = f(x)dx.$

3. $\int df(x) = f(x) + C.$

4. $\int kf(x)dx = k\int f(x)dx,$ где $k = \text{const}.$

5. $\int \left(f(x) \pm g(x)\right)dx = \int f(x)dx \pm \int g(x)dx.$

6. Если $\int f(x)dx = F(x) + C$ и $u = u(x)$ - дифференцируемая на (a, b) функция, то $\int f(u)du = F(u) + C$.

1.3. Таблица основных интегралов

1. $\int 0dx = C \quad (C = \text{const}).$

2. $\int x^{\alpha} dx = \frac{x^{\alpha+1}}{\alpha+1} + C, \quad x > 0, \ \alpha \neq -1.$

3. $\int \frac{dx}{x} = \ln|x| + C.$

4. $\int a^x dx = \frac{a^x}{\ln a} + C, \quad a > 0,\ a \neq 1.$

5. $\int e^x dx = e^x + C.$

6. $\int \sin x dx = -\cos x + C.$

7. $\int \cos x dx = \sin x + C.$

8. $\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C, \quad \cos x \neq 0.$

9. $\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x + C, \quad \sin x \neq 0.$

10. $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \arcsin \frac{x}{a} + C, \quad a \neq 0.$

11. $\int \frac{dx}{a^2 + x^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{x}{a} + C, \quad a \neq 0.$

12. $\int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x - a}{x + a} \right| + C, \quad a \neq 0.$

13. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + k}} = \ln \left| x + \sqrt{x^2 + k} \right| + C, \quad k \neq 0.$

2. МЕТОДЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ

2.1. Непосредственное интегрирование

Выполняется с использованием тождественных преобразований подынтегральных функций, свойств и таблицы неопределённых интегралов.

Примеры

1. $\int 2\sqrt{x^3}dx = 2\int x^{\frac{3}{2}}dx = 2\frac{x^{\frac{3}{2}+1}}{\frac{3}{2}+1} + C = 2\frac{x^{\frac{5}{2}}}{\frac{5}{2}} + C = \frac{4}{5}x^{\frac{5}{2}} + C = \frac{4}{5}\sqrt{x^5} + C.$

2. $\int \frac{\sqrt{x}+2}{\sqrt{x}}dx = \int\left(\frac{\sqrt{x}}{\sqrt{x}} + \frac{2}{\sqrt{x}}\right)dx = \int\left(1 + 2x^{-\frac{1}{2}}\right)dx = \int dx + 2\int x^{-\frac{1}{2}}dx =$

$= x + 2\frac{x^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}} + C = x + 4\sqrt{x} + C.$

3. $\int (7x-1)\left(x^3 + \frac{1}{x}\right)dx = \int\left(7x\cdot x^3 - x^3 + 7x\cdot\frac{1}{x} - \frac{1}{x}\right)dx = \int\left(7x^4 - x^3 - \frac{1}{x} + 7\right)dx =$

$= 7\int x^4dx - \int x^3dx - \int\frac{1}{x}dx + 7\int dx = \frac{7x^5}{5} - \frac{x^4}{4} - \ln|x| + 7x + C.$

4. $\int \frac{x^2-5}{x^4-25}dx = \int \frac{x^2-5}{\left(x^2\right)^2 - 5^2}dx = \int \frac{x^2-5}{\left(x^2-5\right)\left(x^2+5\right)}dx = \int \frac{dx}{x^2+5} = \int \frac{dx}{x^2+\left(\sqrt{5}\right)^2} =$

$= \frac{1}{\sqrt{5}}\operatorname{arctg}\frac{x}{\sqrt{5}} + C.$

5. $\int \frac{x^2-2x-3}{x+1}dx = \left[\begin{array}{c} x^2-2x-3=0 \\ x_{1,2} = \frac{2\pm\sqrt{4+12}}{2} \\ x_1 = 3, \quad x_2 = -1 \end{array}\right] = \int \frac{(x-3)(x+1)}{x+1}dx = \int (x-3)dx = \frac{x^2}{2} - 3x + C.$

6. $\int \frac{(3x-1)^2}{x}dx = \int \frac{9x^2-6x+1}{x}dx = \int\left(9x - 6 + \frac{1}{x}\right)dx = 9\cdot\int xdx - 6\cdot\int dx + \int\frac{dx}{x} =$

$= \frac{9x^2}{2} - 6x + \ln|x| + C.$

$$7.\int \mathrm{e}^{x}\cdot\left(\frac{3e^{-x}}{2}+\frac{4}{5}\right)dx=\int\left(\frac{3e^{x}\cdot e^{-x}}{2}+\frac{4}{5}e^{x}\right)dx=\int\left(\frac{3}{2}+\frac{4}{5}e^{x}\right)dx=\frac{3}{2}\cdot\int dx-\frac{4}{5}\cdot\int e^{x}dx=$$

$$=\frac{3}{2}x+\frac{4}{5}e^{x}+C.$$

$$8.\int x^{2}\cdot\left(\frac{3\sin x}{x^{2}}+\frac{5}{x^{3}}\right)dx=\int\left(3\sin x+\frac{5}{x}\right)dx=3\cdot\int\sin xdx+5\cdot\int\frac{1}{x}dx=-3\cos x+5\ln|x|+C.$$

$$9.\int 4\sin\frac{x}{2}\cdot\cos\frac{x}{2}dx=\int 2\cdot 2\sin\frac{x}{2}\cdot\cos\frac{x}{2}dx=2\cdot\int\sin xdx=-2\cos x+C.$$

$$10.\int\frac{\sin^{2}x}{\cos^{2}x}dx=\int\frac{1-\cos^{2}x}{\cos^{2}x}dx=\int\left(\frac{1}{\cos^{2}x}-\frac{\cos^{2}x}{\cos^{2}x}\right)dx=\int\frac{dx}{\cos^{2}x}-\int dx=\mathrm{tg}x-x+C.$$

$$11.\int\frac{\left(x-\sqrt{x}\right)\left(1+\sqrt{x}\right)}{\sqrt[3]{x}}dx=\int\frac{x+x\sqrt{x}-\sqrt{x}-x}{\sqrt[3]{x}}dx=\int\frac{x\sqrt{x}-\sqrt{x}}{\sqrt[3]{x}}dx=\int\left(\frac{x\sqrt{x}}{\sqrt[3]{x}}-\frac{\sqrt{x}}{\sqrt[3]{x}}\right)dx=$$

$$=\int\left(x\cdot x^{\frac{1}{2}}\cdot x^{-\frac{1}{3}}-x^{\frac{1}{2}}\cdot x^{-\frac{1}{3}}\right)dx=\int x^{\frac{7}{6}}dx-\int x^{\frac{1}{6}}dx=\frac{6x^{\frac{13}{6}}}{13}-\frac{6x^{\frac{7}{6}}}{7}+C=\frac{6\sqrt[6]{x^{13}}}{13}-\frac{6\sqrt[6]{x^{7}}}{7}+C.$$

$$12.\int\frac{2e^{5x}-e^{4x}}{e^{4x}}dx=\int\left(2e^{x}-1\right)dx=2\cdot\int e^{x}dx-\int dx=2e^{x}-x+C.$$

2.2. Подведение под знак дифференциала

В этом методе используют таблицу интегралов и свойство неопределённого интеграл: если $\int f(x)dx=F(x)+C$ и $u=u(x)$ - дифференцируемая на (a,b)

функция, то $\int f(u)du = F(u) + C$, а также определение дифференциала функции $f(x)$: $df(x) = f'(x)dx.$

Например:

1. $dx = \frac{1}{a}d(ax)$ так как $\frac{1}{a}d(ax) = \frac{1}{a}(ax)'dx = \frac{1}{a} \cdot adx = dx$.
2. $dx = d(x+b)$.
3. $dx = \frac{1}{a}d(ax+b)$.
4. $\sin x dx = d(\cos x)$.
5. $\cos x dx = d(\sin x)$.
6. $e^x dx = d(e^x)$.
7. $\frac{dx}{x} = d(\ln x)$.
8. $xdx = \frac{1}{2}d\left(x^2\right) = \frac{1}{2}d\left(x^2 + b\right)$.
9. $x^2dx = \frac{1}{3}d\left(x^3\right) = \frac{1}{3}d\left(x^3 + b\right)$.
10. $\frac{dx}{\cos^2 x} = d(\operatorname{tg} x)$.
11. $\frac{dx}{\sin^2 x} = d(\operatorname{ctg} x)$.
12. $\frac{dx}{1+x^2} = d(\operatorname{arctg} x)$.
13. $\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = d(\arcsin x)$.
14. $d(f) = \frac{1}{a}d(af+b)$.

Примеры

1. $\int \sin 3x dx = \left[dx = \frac{1}{3} d(3x) \right] = \frac{1}{3} \int \sin 3x d(3x) = -\frac{1}{3} \cos 3x + C$.

2. $\int \cos \frac{x}{5} dx = \left[dx = 5 d\left(\frac{x}{5} \right) \right] = 5 \int \cos \frac{x}{5} d\left(\frac{x}{5} \right) = 5 \sin \frac{x}{5} + C$.

3. $\int \frac{dx}{7x-2} = \left[dx = \frac{1}{7} d(7x-2) \right] = \frac{1}{7} \int \frac{d(7x-2)}{7x-2} = \frac{1}{7} \ln |7x-2| + C$.

4. $\int \operatorname{tg}\, x dx = \int \frac{\sin x dx}{\cos x} = \left[\sin x dx = -d(\cos x) \right] = -\int \frac{d(\cos x)}{\cos x} = -\ln |\cos x| + C$.

5. $\int \frac{\ln^2 x}{x} dx = \left[\frac{dx}{x} = d(\ln x) \right] = \int \ln^2 x d(\ln x) = \frac{\ln^3 x}{3} + C$.

6. $\int \frac{x dx}{x^2+9} = \left[x dx = \frac{1}{2} d(x^2+9) \right] = \frac{1}{2} \int \frac{d(x^2+9)}{x^2+9} = \frac{1}{2} \ln \left| x^2+9 \right| + C$.

7. $\int \frac{e^x dx}{e^{2x}+4} = \left[e^x dx = d\left(e^x \right) \right] = \int \frac{d(e^x)}{(e^x)^2 + 2^2} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{e^x}{2} + C$.

8. $\int \frac{e^{\operatorname{tg} x} dx}{\cos^2 x} = \left[\frac{dx}{\cos^2 x} = d(\operatorname{tg}\, x) \right] = \int e^{\operatorname{tg} x} d(\operatorname{tg}\, x) = e^{\operatorname{tg} x} + C$.

9. $\int \frac{dx}{(1+x^2)\operatorname{arctg} x} = \left[\frac{dx}{1+x^2} = d(\operatorname{arctg} x) \right] = \int \frac{d(\operatorname{arctg} x)}{\operatorname{arctg} x} = \ln |\operatorname{arctg} x| + C.$

$$10.\int\sqrt{4x^3-8}\cdot x^2dx=\left[x^2dx=\frac{1}{3}d\left(x^3\right)=\frac{1}{12}d\left(4x^3-8\right)\right]=\frac{1}{12}\int\left(4x^3-8\right)^{\frac{1}{2}}d\left(4x^3-8\right)=$$

$$=\frac{1}{12}\frac{\left(4x^3-8\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}+C=\frac{1}{12}\cdot\frac{2}{3}\sqrt{(4x^3-8)^3}+C=\frac{1}{18}\sqrt{(4x^3-8)^3}+C.$$

2.3. Замена переменной

Этот метод является продолжением метода подведения под знак дифференциала в более сложных случаях.

Пусть $x=x(t)$ – монотонная непрерывно дифференцируемая функция на некотором интервале изменения t, а $f(x)$ – непрерывная функция на соответствующем интервале изменения x.

Тогда

$$\int f(x)\,dx=\int f(x(t))\,x'(t)\,dt.$$

Примеры

1.

$$\int\frac{dx}{\sqrt{x}+2}=\left[\begin{array}{l}\text{Замена:}\\ x=t^2\\ dx=\left(t^2\right)'dt=2tdt\end{array}\right]=\int\frac{2tdt}{t+2}=2\int\frac{(t+2)-2}{t+2}dt=$$

$$=2\int\left(1-\frac{2}{t+2}\right)dt=2\int dt-4\int\frac{dt}{t+2}=$$

$$=2t-4\int\frac{d(t+2)}{t+2}=2t-4\ln|t+2|=\left[\begin{array}{l}\text{обратная}\\ \text{замена: } t=\sqrt{x}\end{array}\right]=2\sqrt{x}-4\ln\left|\sqrt{x}+2\right|+C.$$

2.

$$\int \frac{(x+1)dx}{x^2+4x+20} = \left[\begin{array}{l} \text{Выделим в знаменателе полный квадрат.} \\ x^2+4x+20 = (x^2+4x+4)+16 = (x+2)^2+16. \\ \text{Замена: } x+2=t;\ x=t-2;\ dx=dt; \\ x+1=t-2+1=t-1 \end{array}\right] =$$

$$= \int \frac{(t-1)dt}{t^2+16} = \int \frac{tdt}{t^2+16} - \int \frac{dt}{t^2+16} = \frac{1}{2}\int \frac{d(t^2+16)}{t^2+16} - \frac{1}{4}\operatorname{arctg}\frac{t}{4}$$

$$= \frac{1}{2}\ln\left|t^2+16\right| - \frac{1}{4}\operatorname{arctg}\frac{t}{4} + C =$$

$$= \left[\begin{array}{c} \text{обратная замена: } \quad t=x+2; \\ \mathrm{t}^2+16 = x^2+4x+20 \end{array}\right] = \frac{1}{2}\ln\left|x^2+4x+20\right| - \frac{1}{4}\operatorname{arctg}\frac{x+2}{4} + C.$$

3.

$$\int \sqrt{9-x^2}\,dx = \left[\begin{array}{l} \text{Замена: } x=3\sin t,\ \sqrt{9-x^2} = \sqrt{9-9\sin^2 t} = \\ = \sqrt{9(1-\sin^2 t)} = 3\sqrt{\cos^2 t} = 3\cos\ t; \quad dx = 3\cos\ tdt \end{array}\right] =$$

$$= \int 3\cos\ t \cdot 3\cos\ tdt = 9\int \cos^2 tdt = 9\int \frac{1+\cos 2t}{2}dt = \frac{9}{2}\int dt + \frac{9}{2}\int \cos\ 2tdt =$$

$$= \frac{9}{2}t + \frac{1}{2}\cdot\frac{9}{2}\int \cos\ 2td(2t) = \frac{9}{2}t + \frac{9}{4}\sin 2t + C = \left[\text{Обратная замена: } \quad t = \arcsin\frac{x}{3}\right] =$$

$$= \frac{9}{2}\arcsin\frac{x}{3} + \frac{9}{4}\sin\left(2\arcsin\frac{x}{3}\right) + C.$$

4.

$$\int \frac{e^{2x}dx}{e^x+1} = \left[\begin{array}{l|l} \text{Замена:} & \\ e^x = t & e^{2x} = t^2 \\ x = \ln t & dx = \frac{1}{t}dt \end{array}\right] = \int \frac{t^2 \frac{1}{t}dt}{t+1} = \int \frac{tdt}{t+1} = \int \frac{(t+1)-1}{t+1}dt =$$

$$= \int dt - \int \frac{dt}{t+1} = t - \int \frac{d(t+1)}{t+1} = t - \ln|t+1| + C = e^x - \ln|e^x+1| + C.$$

2.4. Интегрирование по частям

Пусть функции $u=u(x)$ и $v=v(x)$ непрерывно дифференцируемы. Тогда

$$\int u(x)\cdot v'(x)\,dx = u(x)\cdot v(x) - \int v(x)\cdot u'(x)\,dx$$

или в укороченном виде

$$\int u\,dv = uv - \int v\,du.$$

Формула применяется для нахождения, например, интегралов вида

а) $\int x^n \cos x dx,\ \int x^n \sin x dx,\ \int x^n e^x dx$ с выбором функции $u = x^n$;

б) $\int x^n \ln x dx$ с выбором функции $u = \ln x$;

в) $\int x^n \arcsin x dx,\ \int x^n \arccos x dx,\ \int x^n \operatorname{arctg} x dx,$ с выбором функции $u = \arcsin$ и т.п.

После выбора функции $u = u(x)$ и дифференциала $dv = v'(x)dx$ находим дифференциал $du = u'(x)dx$ и функцию $v = \int v'(x)dx = \int dv\ (C = 0)$. Подставив $u(x), v(x)$ и $du(x)$ в правую часть формулы, находим $\int v(x)du$.

Применение формулы интегрирования по частям не ограничивается интегралами приведённых типов.

Примеры

$$1.\int x\cos\frac{x}{3}dx=\left[\begin{array}{l}\text{Выбираем}\quad u=x,\ d\nu=\cos\frac{x}{3}dx\\ \text{и находим}\quad du=x'dx=dx,\\ \nu=\int\cos\frac{x}{3}dx=3\int\cos\frac{x}{3}d\frac{x}{3}=3\sin\frac{x}{3}\end{array}\right]=$$

$$=x\cdot 3\sin\frac{x}{3}-\int 3\sin\frac{x}{3}dx=3x\sin\frac{x}{3}-3\cdot 3\int\sin\frac{x}{3}d\frac{x}{3}=3x\cdot\sin\frac{x}{3}+9\cos\frac{x}{3}+C.$$

$$2.\int(2x-5)\cdot e^{-7x}dx=\left[\begin{array}{l}\text{Выбираем}\quad u=2x-5,\ d\nu=e^{-7x}dx\\ \text{и находим}\quad du=(2x-5)'dx=2dx,\\ \nu=\int e^{-7x}dx=-\frac{1}{7}\int e^{-7x}d(-7x)=-\frac{1}{7}e^{-7x}\end{array}\right]=$$

$$=-\frac{2x-5}{7}\cdot e^{-7x}+\int\frac{1}{7}e^{-7x}\cdot 2dx=-\frac{2x-5}{7}e^{-7x}+\frac{2}{7}\int e^{-7x}dx=$$

$$=-\frac{2x-5}{7}\cdot e^{-7x}+\frac{2}{7}\cdot\left(-\frac{1}{7}\right)e^{-7x}+C==-\frac{2x-5}{7}\cdot e^{-7x}-\frac{2}{49}e^{-7x}+C.$$

$$3.\int\frac{\ln 9x}{x^3}dx=\int\frac{1}{x^3}\cdot\ln 9xdx=\int x^{-3}\cdot\ln 9xdx=$$

$$=\left[\begin{array}{l}u=\ln 9x,\ d\nu=x^{-3}dx,\ \text{тогда}\\ du=(\ln 9x)'\,dx=\frac{9}{9x}dx=\frac{dx}{x},\nu=\int x^{-3}dx=-\frac{1}{2x^2}\end{array}\right]=-\frac{\ln 9x}{2x^2}+\frac{1}{2}\int\frac{1}{x^2}\cdot\frac{dx}{x}=$$

$$=-\frac{\ln 9x}{2x^2}+\frac{1}{2}\int x^{-3}dx=-\frac{\ln 9x}{2x^2}-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2x^2}+C=-\frac{2\ln 9x+1}{4x^2}+C.$$

$$4.\int x\operatorname{arctg} x\,dx=\int \operatorname{arctg} x\cdot x\,dx=\left[\begin{array}{l} u=\operatorname{arctg} x,\ d\nu=x\,dx,\ \text{тогда} \\ du=(\operatorname{arctg} x)'dx=\dfrac{dx}{1+x^2}, \\ \nu=\int x\,dx=\dfrac{x^2}{2} \end{array}\right]=$$

$$=\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\int\frac{x^2}{2}\cdot\frac{dx}{1+x^2}=\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\frac{1}{2}\int\frac{x^2dx}{1+x^2}=\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\frac{1}{2}\int\frac{x^2+1-1}{1+x^2}dx=$$

$$=\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\frac{1}{2}\int\left(\frac{x^2+1}{1+x^2}-\frac{1}{1+x^2}\right)dx==\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\frac{1}{2}\int\left(1-\frac{1}{1+x^2}\right)dx=$$

$$=\frac{x^2\operatorname{arctg} x}{2}-\frac{1}{2}x+\frac{1}{2}\operatorname{arctg} x+C=\frac{1}{2}\left(x^2\operatorname{arctg} x+\operatorname{arctg} x-x\right)+C.$$

$$5.\int x^2\cdot 3^x dx=\left[\begin{array}{l} u=x^2,\ d\nu=3^x dx,\quad \text{тогда} \\ du=2x\,dx,\ \nu=\dfrac{3^x}{\ln 3} \end{array}\right]=\frac{x^2\cdot 3^x}{\ln 3}-\int\frac{3^x}{\ln 3}\cdot 2x\,dx=$$

$$=\frac{x^2\cdot 3^x}{\ln 3}-\frac{2}{\ln 3}\cdot\int x\cdot 3^x dx=\left[\begin{array}{l} u=x,\ d\nu=3^x dx,\quad \text{и} \\ du=dx,\ \nu=\dfrac{3^x}{\ln 3} \end{array}\right]=$$

$$=\frac{x^2\cdot 3^x}{\ln 3}-\frac{2}{\ln 3}\cdot\left(\frac{x\cdot 3^x}{\ln 3}-\int\frac{3^x}{\ln 3}dx\right)=\frac{x^2\cdot 3^x}{\ln 3}-\frac{2}{\ln 3}\cdot\left(\frac{x\cdot 3^x}{\ln 3}-\frac{1}{\ln 3}\cdot\frac{3^x}{\ln 3}+C\right)=$$

$$=\frac{x^2\cdot 3^x}{\ln 3}-\frac{2x\cdot 3^x}{\ln^2 3}+\frac{2\cdot 3^x}{\ln^3 3}+C.$$

Рассмотрим два нетиповых примера.

$$6.\int\sqrt{1+x^2}\,dx=\left[\begin{array}{l}u=\sqrt{1+x^2};\ d\nu=dx,\ \text{тогда}\\ du=\dfrac{2x}{2\sqrt{1+x^2}}dx=\dfrac{xdx}{\sqrt{1+x^2}};\ \nu=\int dx=x\end{array}\right]=$$

$$=x\cdot\sqrt{1+x^2}-\int x\cdot\frac{xdx}{\sqrt{1+x^2}}=x\cdot\sqrt{1+x^2}-\int\frac{x^2dx}{\sqrt{1+x^2}}\,dx=$$

$$=x\sqrt{1+x^2}-\int\frac{x^2+1}{\sqrt{1+x^2}}dx+\sqrt{1+x^2}=x\sqrt{1+x^2}-\int\left(\frac{x^2+1}{\sqrt{1+x^2}}-\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}\right)dx$$

$$=x\sqrt{1+x^2}-\int\left(\sqrt{x^2+1}-\frac{1}{\sqrt{1+x^2}}\right)dx+\sqrt{1+x^2}=x\sqrt{1+x^2}-\int\sqrt{x^2+1}\,dx+\ln\left|x+\sqrt{1+x^2}\right|$$

тогда из равенства

$$\int\sqrt{1+x^2}dx=x\cdot\sqrt{1+x^2}-\int\sqrt{1+x^2}dx+\ln\left|x+\sqrt{1+x^2}\right|$$

находится

$$\int\sqrt{1+x^2}dx=\frac{1}{2}\left(x\cdot\sqrt{1+x^2}+\ln\left|x+\sqrt{1+x^2}\right|\right)+C.$$

$$7)\int e^x\cdot\sin 2xdx=\left[\begin{array}{l}u=e^x,\ d\nu=\sin 2xdx,\ \text{тогда}\\ du=e^xdx,\ \nu=-\dfrac{1}{2}\cos 2x\end{array}\right]=-\frac{e^x\cdot\cos 2x}{2}+\frac{1}{2}\int e^x\cdot\cos 2xdx=$$

$$=\left[\begin{array}{l}u=e^x,\ d\nu=\cos 2xdx,\ \text{тогда}\\ du=e^xdx,\ \nu=\dfrac{1}{2}\sin 2x\end{array}\right]=-\frac{e^x\cdot\cos 2x}{2}+\frac{1}{2}\left(\frac{e^x\cdot\sin 2x}{2}-\frac{1}{2}\int e^x\cdot\sin 2xdx\right)=$$

$$=-\frac{e^x\cdot\cos 2x}{2}+\frac{e^x\cdot\sin 2x}{4}-\frac{1}{4}\int e^x\cdot\sin 2xdx$$

Из равенства

$$\int e^x \cdot \sin 2x dx = -\frac{e^x \cdot \cos 2x}{2} + \frac{e^x \cdot \sin 2x}{4} - \frac{1}{4}\int e^x \cdot \sin 2x dx$$

находится

$$\frac{5}{4}\int e^x \cdot \sin 2x dx = -\frac{e^x \cdot \cos 2x}{2} + \frac{e^x \cdot \sin 2x}{4}$$

или

$$\int e^x \cdot \sin 2x dx = \frac{1}{5}e^x \cdot \sin 2x - \frac{2}{5}e^x \cdot \cos\ 2x + C.$$

2.5. Интегрирование рациональных дробей

Функция $\frac{P_n(x)}{Q_m(x)}$ называется рациональной дробью, где

$$P_n(x) = a_o + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n$$
$$Q_m(x) = b_o + b_1 x + b_2 x^2 + \cdots + b_m x^m -$$

многочлены степени n и m соответственно.

Дробь $\frac{P_n(x)}{Q_m(x)}$ будет правильной, если $n < m$; в противном случае $(n \geq m)$ дробь будет неправильной.

Дроби: $\frac{x^2+1}{x^3+x^2-5x}; \frac{3x+1}{x^2-8x+}$ являются правильными, а дроби $\frac{3x^2-5x+1}{x^3-8x-5}; \frac{4x^3-8x+}{x^2-5x+}$ - неправильными.

Если дробь неправильная, то путём деления числителя на знаменатель её можно представить в виде суммы целой части и правильной рациональной дроби.

Пример

Представить дробь $\frac{x^4+8x^3+5}{x^2+5x+2}$ в виде суммы целой части и правильной рациональной дроби.

Решение

Дробь является неправильной, так как степень многочлена в числителе больше степени многочлена в знаменателе.

Произведём деление двух многочленов:

$$\begin{array}{r|l} x^4+8x^3+5 & x^2+5x+2 \\ \underline{-\,x^4+5x^3+2x^2} & \\ 3x^3-2x^2+5 & x^2+3x-17 \\ \underline{-\,3x^3+15x^2+6x} & \\ -17x^2-6x+5 & \\ \underline{-\,-17x^2-85x-34} & \\ 79x+39 & \end{array}$$

Деление производится до тех пор, пока степень многочлена в остатке не будет меньше степени делителя.

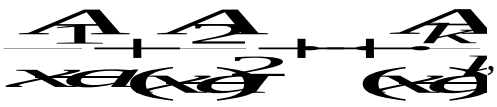
Таким образом, $\frac{x^4+8x^3+5}{x^2+5x+2}=x^2+3x-17+\frac{79x+39}{x^2+5x+2}$. Очевидно, что интегрирование целой части (т. е. многочлена) не представляет никаких трудностей, поэтому интегрирование любой рациональной дроби сводится к интегрированию правильной рациональной дроби.

Интегрирование правильной рациональной дроби можно разделить на несколько этапов:

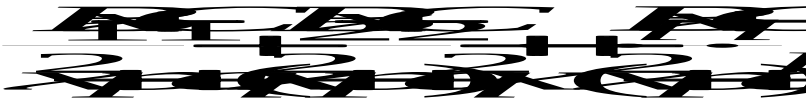
1. Разложить знаменатель правильной рациональной дроби на множители вида $(x-a)^k$ и $\left(x^2+px+q\right)^l$, где $a, p, q-$действительные числа, k и l – натуральные числа, корни квадратного трёхчлена $x^2+px+q-$комплексные числа.

2. По виду множителей в знаменателе разложить правильную рациональную дробь на сумму простейших дробей по правилу:

всякому множителю вида $(x-a)^k$ в разложении соответствует сумма k – дробей вида



всякому множителю вида $(x^2+px+q)^l$ в разложении соответствует сумма l – дробей вида



где  неопределённые коэффициенты.

3. Найти неопределённые коэффициенты

 ;

для этого полученную сумму простейших дробей привести к общему знаменателю и сравнить числители заданной и полученной дробей. Найти неопределённые коэффициенты можно двумя способами:

а) приравнять коэффициенты двух многочленов (числителей) при одинаковых степенях x и решить полученную систему уравнений;

б) сравнить многочлены (числители) при конкретных значениях x; удобнее выбрать такие значения x, при которых знаменатель рассматриваемой дроби равен нулю или любые другие значения (метод частных значений).

4. Проинтегрировать полученные простейшие дроби. При интегрировании получаются интегралы следующего вида:

$$\int \frac{A}{x-a}dx = A\ln|x-a| + C.$$

$$\int \frac{A_k}{(x-a)^k}dx = A_k \cdot \frac{(x-a)^{-k+1}}{-k+1} + C.$$

$\int \frac{Bx + C}{x^2 + px + q} dx$ (см. интегрирование выражений, содержащих квадратный трёхчлен).

$\int \frac{B_l x + C_l}{(x^2 + px + q)^l} dx$ (интегрирование таких дробей в данном методическом пособии не рассматривается).

Примеры

1. $\int \frac{x^5 + x^4 - 8}{x^3 - 4x} dx.$

Рассмотрим подынтегральную функцию

$$f(x) = \frac{x^5 + x^4 - 8}{x^3 - 4x} -$$

неправильная рациональная дробь, преобразуем её

$$\begin{array}{r|l} x^5 + x^4 - 8 & x^3 - 4x \\ \underline{x^5 - 4x^3} & \hline & x^2 + x + 4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} x^4 + 4x^3 - 8 \\ \underline{x^4 - 4x^2} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4x^3 + 4x^2 - 8 \\ \underline{4x^3 - 16x} \end{array}$$

$$4x^2 + 16x - 8.$$

Таким образом, имеем

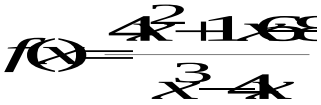
$$\frac{x^5 + x^4 - 8}{x^3 - 4x} = x^2 + x + 4 + \frac{4x^2 + 16x - 8}{x^3 - 4x}.$$

Следовательно

$$\int \frac{x^5 + x^4 - 8}{x^3 - 4x}\,dx = \int\left(x^2 + x + 4 + \frac{4x^2 + 16x - 8}{x^3 - 4x} \right) dx =$$

$$= \int x^2 dx + \int x dx + \int 4 dx + \int \frac{4x^2 + 16x - 8}{x^3 - 4x}\,dx =$$

$$= \frac{x^3}{3} + \frac{x^2}{2} + 4x + \int \frac{4x^2 + 16x - 8}{x^3 - 4x}\,dx.$$

Последний интеграл рассмотрим отдельно. Подынтегральная функция  является правильной рациональной дробью.

Разложим знаменатель этой дроби на множители



Разложим подынтегральную функцию на сумму простейших дробей



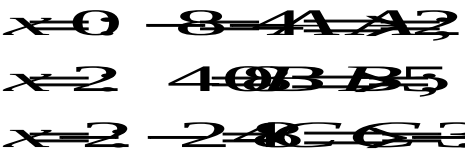
Определим коэффициенты A, B и C. Для этого приведём полученную сумму дробей к общему знаменателю



и приравняем числители



Определим коэффициенты A, B и C методом частных значений, для этого подставим конкретные значения x в обе части вышестоящего выражения; в качестве конкретных значений x рассмотрим те значения, при которых знаменатель рассматриваемой дроби обращается в нуль.



Итак, имеем



Интегрируем данную функцию

$$\int \frac{4x^2+16x-8}{x\cdot(x-2)(x+2)}\,dx = \int\left(\frac{2}{x}+\frac{5}{x-2}-\frac{3}{x+2}\right)dx =$$

$$= 2\int\frac{dx}{x}+5\int\frac{dx}{x-2}-3\int\frac{dx}{x+2} = 2\ln|x|+5\ln|x-2|-3\ln|x+2|+C.$$

Возвращаемся к исходному интегралу

$$\int \frac{x^5+x^4-8}{x^3-4x}\,dx = \frac{x^3}{3}+\frac{x^2}{2}+4x+\int\frac{4x^2+16x-8}{x^3-4x}dx =$$

$$= \frac{x^3}{3}+\frac{x^2}{2}+4x+2\ln|x|+5\ln|x-2|-3\ln|x+2|+C.$$

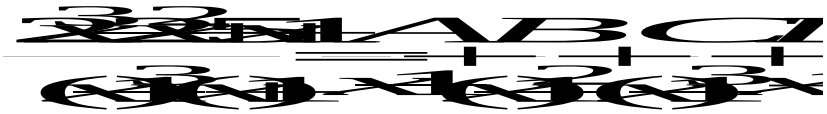
2. $\int \frac{2x^3-2x^2+5x+1}{(x^2-2x+1)(x^2-1)}\,dx.$

Рассмотрим подынтегральную функцию $f(x)=\dfrac{2x^3-2x^2+5x+1}{(x^2-2x+1)(x-1)}$ – правильную рациональную дробь.

Разложим знаменатель на множители



Разложим подынтегральную функцию на сумму простейших дробей



Определим коэффициенты A, B, C и D, для этого приведем сумму простейших дробей к общему знаменателю

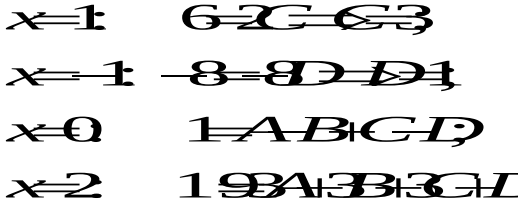
$$\frac{2x^3-2x^2+5x+1}{(x-1)^3\cdot(x+1)}=\frac{A}{x-1}+\frac{B}{(x-1)^2}+\frac{C}{(x-1)^3}+\frac{D}{x+1}=$$

$$=\frac{A(x-1)^2\cdot(x+1)+B(x-1)(x+1)+C(x+1)+D(x-1)^3}{(x-1)^3\cdot(x+1)}$$

и приравняем числители



Определим коэффициенты A, B, C и D методом частных значений, подставив эти значения в обе части, в качестве конкретных значений x выбираем $x = 1$; $x = -1$ (это те значения x при которых знаменатель рассматриваемой дроби равен 0) и два значения $x = 0$ и $x = 2$ выбираем произвольно.



подставив значения $C = 3$ и $D = 1$ в последние два уравнения получаем

$$\begin{cases} A+B=1 \\ 3A+3B=9 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} A=1 \\ B=2 \end{matrix}$$

Итак, имеем



Интегрируем данную функцию

$$\int \frac{2x^3-2x^2-5x+1}{(x-1)^3(x+1)}\,dx = \int\left(\frac{1}{x-1}+\frac{2}{(x-1)^2}+\frac{3}{(x-1)^3}+\frac{1}{x+1}\right)dx =$$

$$= \int \frac{dx}{x-1} + 2\int \frac{dx}{(x-1)^2} + 3\int \frac{dx}{(x-1)^3} + \int \frac{dx}{x+1} = \ln|x-1| - \frac{2}{x-1} - \frac{3}{2(x-1)^2} + \ln|x+1| + C.$$

3. $\int \dfrac{x^2-7x+15}{x^3-2x^2+5x}\,dx.$

Рассмотрим подынтегральную функцию $f(x)=\dfrac{x^2-7x+15}{x^3-2x^2+5x}$ Это правильная рациональная дробь.

Разложим знаменатель дроби на множители



Разложим подынтегральную функцию на простейшие дроби



Определим коэффициенты A, B и C



$$= x^2 - 7x + 15 = A(x^2 - 2x + 5) + (Bx + C);$$

$$x^2 - 7x + 15 = Ax^2 - 2Ax + 5A + Bx + C;$$

$$x^2 - 7x + 15 = (A + B)x^2 + (C - 2A)x + 5A$$

Сравним коэффициенты при одинаковых степенях x

$$\begin{aligned} x^2: &\quad 1 = A + B; \\ x: &\quad -7 = C - 2A; \\ x^0: &\quad 15 = 5A \Rightarrow A = 3 \\ &\qquad\quad B = -2 \\ &\qquad\quad C = -1. \end{aligned}$$

Итак, имеем



Проинтегрируем данную функцию

$$\int \frac{x^2 - 7x + 15}{x(x^2 - 2x + 5)}\,\mathrm{dx} = \int\left(\frac{3}{x} - \frac{2x+1}{x^2 - 2x + 5}\right)dx =$$

$$= 3\int \frac{dx}{x} - \int \frac{2x+1}{x^2 - 2x + 5}\,dx = 3\ln|x| - \int \frac{2x+1}{x^2 - 2x + 5}\,dx.$$

Рассмотрим второй интеграл отдельно.

$$\int \frac{2x+1}{x^2-2x+5}\,dx = \int \frac{2x+1}{(x-1)^2+4}\,dx = \left| \begin{array}{l} x-1=t \\ x=t+1 \\ dx=dt \end{array} \right| = \int \frac{2(t+1)+1}{t^2+4}\,dt = \int \frac{2t+3}{t^2+4}\,dt =$$

$$= \int \frac{2tdt}{t^2+4} + 3\int \frac{dt}{t^2+4} = \int \frac{d(t^2+4)}{t^2+4} + \frac{3}{2}\operatorname{arctg}\frac{t}{2} + C = \ln\left|t^2+4\right| + \frac{3}{2}\operatorname{arctg}\frac{t}{2} + C =$$

$$= \ln\left|(x-1)^2+4\right| + \frac{3}{2}\operatorname{arctg}\frac{x-1}{2} + C.$$

Тогда окончательно имеем

$$\int \frac{x^2-7x+15}{x(x^2-2x+5)}\,\mathrm{dx} = 3\ln|x| - \ln\left|x^2-2x+5\right| - \frac{3}{2}\operatorname{arctg}\,\frac{x-1}{2} + C.$$

2.6. Интегрирование тригонометрических функций

а) $\int \sin^m ax \cdot \cos^n ax dx$

Пусть хотя бы одно из чисел m или n является нечетным положительным числом. Интеграл находится методом замены переменной; при этом

если m – нечетное число, то нужно сделать замену $\cos ax = t$,

если n – нечетное число, то нужно сделать замену $\sin ax = t$.

При таких подстановках нужно предварительно представить функцию, имеющую нечетную положительную степень в виде произведения первой и четной степени и преобразовать четную степень тригонометрической функции с помощью основного тригонометрического тождества: $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$.

Если оба числа *m* и *n* являются нечетными положительными числами, то за новую переменную обозначить ту из функций $\cos ax$ и $\sin ax$, степень которой больше, а оставшийся множитель преобразовать так же, как указано выше.

Примеры

$$1.\int\frac{\sin^3 xdx}{\sqrt{\cos^5 x}}=\int\frac{\sin^2 x\cdot\sin xdx}{\sqrt{\cos^5 x}}=\int\frac{(1-\cos^2 x)\cdot\sin xdx}{(\cos x)^{5/2}}=\left|\begin{array}{l}\cos x=t\\-\sin xdx=dt\\\sin xdx=-dt\end{array}\right|=$$

$$=\int\frac{(1-t^2)\cdot(-dt)}{t^{5/2}}=-\int\frac{dt}{t^{5/2}}+\int\frac{t^2dt}{t^{5/2}}=-\int t^{-5/2}dt+\int t^{-1/2}dt=-\frac{t^{-3/2}}{-3/2}+\frac{t^{1/2}}{1/2}+C=$$

$$=\frac{2}{3\sqrt{t^3}}+2\sqrt{t}+C=\frac{2}{3\sqrt{\cos^3 x}}+2\sqrt{\cos x}+C.$$

$$2.\int\cos^5 3xdx=\int\cos^4 3x\cdot\cos 3xdx=\int(\cos^2 3x)^2\cdot\cos 3xdx=$$

$$=\int(1-\sin^2 3x)^2\cdot\cos 3xdx=\left|\begin{array}{l}\sin 3x=t\\3\cos 3\,xdx=dt\\\cos 3\,xdx=\frac{1}{3}dt\end{array}\right|=$$

$$=\int(1-t^2)^2\cdot\frac{1}{3}dt=\frac{1}{3}\int(1-2t^2+t^4)dt=\frac{1}{3}\left(t-\frac{2t^3}{3}+\frac{t^5}{5}\right)+C=$$

$$=\frac{1}{3}\sin 3x-\frac{2}{9}\sin^3 3x+\frac{1}{15}\sin^5 3x+C.$$

3. $\int \cos^9 2x \cdot \sin^3 2x dx = \int \cos^9 2x \cdot \sin^2 2x \cdot \sin 2x dx =$

$$= \int \cos^9 2x \cdot (1 - \cos^2 2x) \cdot \sin 2x dx =$$

$$= \left| \begin{array}{l} \cos 2x = t \\ -2\sin 2x dx = dt \\ \sin 2x dx = -\frac{1}{2} dt \end{array} \right| = \int t^9 \cdot (1 - t^2) \cdot \left(-\frac{1}{2} dt \right) =$$

$$= -\frac{1}{2} \int (t^9 - t^{11}) dt = -\frac{1}{2} \left(\frac{t^{10}}{10} - \frac{t^{12}}{12} \right) + C =$$

$$= -\frac{1}{20} \cos^{10} 2x + \frac{1}{24} \cos^{12} 2x + C.$$

б) $\int \sin^m ax \cdot \cos^n ax dx$

Если оба числа m и n являются четными положительными числами, то воспользуемся формулами понижения степени:

$$\sin^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2},$$

$$\cos^2 x = \frac{1 + \cos 2x}{2}$$

Примеры

1. $\int \sin^2 \frac{x}{3}\,dx = \int \frac{1-\cos\frac{2x}{3}}{2}\,dx = \frac{1}{2}\int dx - \frac{1}{2}\int \cos\frac{2x}{3}\,dx =$

$= \frac{x}{2} - \frac{1}{2}\cdot\frac{3}{2}\sin\frac{2x}{3} + C = \frac{x}{2} - \frac{3}{4}\sin\frac{2x}{3} + C.$

2. $\int \cos^4 3x dx = \int (\cos^2 3x)^2\,dx = \int\left(\frac{1+\cos 6x}{2}\right)^2 dx = \int \frac{1+2\cos\ 6x+\cos^2 6x}{4}\,dx =$

$= \frac{1}{4}\int dx + \frac{1}{2}\int \cos\ 6x dx + \frac{1}{4}\int \cos^2 6x dx = \frac{x}{4} + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{6}\sin\ 6x + \frac{1}{4}\int \frac{1+\cos\ 12x}{2}\,dx =$

$= \frac{x}{4} + \frac{1}{12}\sin 6x + \frac{1}{8}x + \frac{1}{8}\int \cos\ 12x dx = \frac{x}{4} + \frac{1}{12}\sin\ 6x + \frac{x}{8} + \frac{1}{8}\cdot\frac{1}{12}\sin\ 12x + C =$

$= \frac{3x}{8} + \frac{1}{12}\sin\ 6x + \frac{1}{96}\sin\ 12x + C.$

3. $\int \sin^4 \frac{x}{2}\cos^4 \frac{x}{2} dx = \int\left(\sin\frac{x}{2}\cdot\cos\frac{x}{2}\right)^4 dx = \int\left(\frac{1}{2}\sin x\right)^4 dx = \frac{1}{16}\int \sin^4 x dx =$

$= \frac{1}{16}\int (\sin^2 x)^2\,dx = \frac{1}{16}\int\left(\frac{1-\cos 2x}{2}\right)^2 dx = \frac{1}{16}\int \frac{1-2\cos 2x+\cos^2 2x}{4}\,dx =$

$= \frac{1}{64}\int dx - \frac{2}{64}\int \cos 2x dx + \frac{1}{64}\int \cos^2 2x dx = \frac{x}{64} - \frac{1}{32}\cdot\frac{1}{2}\sin 2x + \frac{1}{64}\int \frac{1+\cos 4x}{2}\,dx =$

$= \frac{x}{64} - \frac{1}{64}\sin 2x + \frac{1}{128}\int dx + \frac{1}{128}\int \cos 4x dx =$

в) $\int \sin ax \cdot \cos bx dx$; $\int \cos ax \cdot \cos bx dx$; $\int \sin ax \cdot \sin bx dx$,

где $a \neq b$.

При интегрировании указанных выше произведений синусов и косинусов нужно предварительно преобразовать подынтегральную функцию с помощью формул:

$$\sin ax \cos bx = \frac{1}{2}(\sin(a+b)x + \sin(a-b)x)$$

$$\cos ax \cos bx = \frac{1}{2}(\cos(a+b)x + \cos(a-b)x)$$

$$\sin ax \sin bx = \frac{1}{2}(\cos(a-b)x - \cos(a+b)x).$$

Примеры

1. $\int \sin 5x \cdot \cos 2x dx = \frac{1}{2}\int (\sin 7x + \sin 3x)dx = \frac{1}{2} \cdot (-\frac{1}{7}\cos 7x) + \frac{1}{2} \cdot (-\frac{1}{3}\cos 3x) + C$

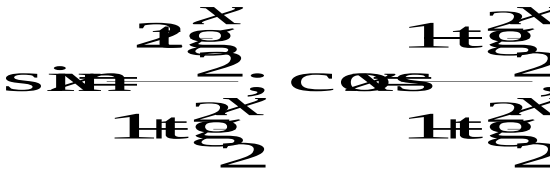
$= -\frac{1}{14}\cos 7x - \frac{1}{6}\cos 3x + C.$

2. $\int \cos 3x \cdot \cos 7x dx = \frac{1}{2}\int (\cos 10x + \cos 4x)dx = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}\sin 10x + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}\sin 4x + C =$

$= \frac{1}{20}\sin 10x + \frac{1}{8}\sin 4x + C.$

г) $\int R(\sin x,\ \cos x)dx$

Здесь $R(\sin x, \cos x)$ - рациональная функция от $\sin x$ и $\cos x$. В этом случае нужно использовать универсальную тригонометрическую подстановку



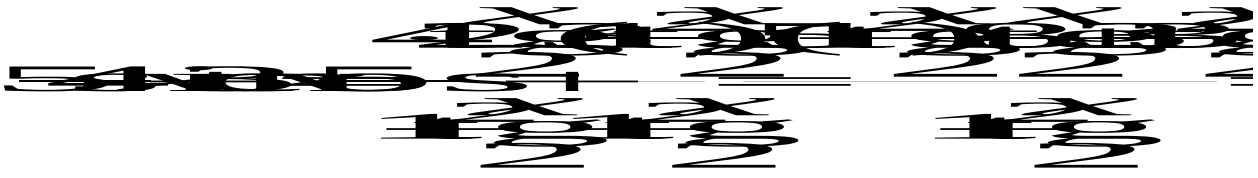
а затем ввести новую переменную



Пример

$$\int \frac{dx}{5-4\sin x+3\cos x}.$$

Преобразуем знаменатель подынтегральной функции





Возвращаемся к вычислению интеграла

$$\int \frac{dx}{5-4\sin x+3\cos x} = \int \frac{1+\operatorname{tg}^2\frac{x}{2}}{2\left(\operatorname{tg}^2\frac{x}{2}-4\operatorname{tg}\frac{x}{2}+4\right)}\,dx =$$

$$= \left| \begin{array}{l} \operatorname{tg}\dfrac{x}{2} = t \\ \dfrac{x}{2} = \operatorname{arctg} t \\ x = 2\operatorname{arctg} t \\ dx = \dfrac{2dt}{1+t^2} \end{array} \right| = \int \frac{(1+t^2)}{2(t^2-4t+4)} \cdot \frac{2dt}{1+t^2} =$$

$$= \int \frac{dt}{t^2-4t+4} = \int \frac{dt}{(t-2)^2} = \int (t-2)^{-2}\,dt = \frac{(t-2)^{-1}}{-1} + C = -\frac{1}{t-2} + C = -\frac{1}{\operatorname{tg}\frac{x}{2}-2} + C.$$

3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

3.1. Непосредственное интегрирование

1. *а)* $\int \sqrt{x}\cdot(x+1)(2x+3)dx;$ б) $\int \frac{5e^{2x}+\sqrt{x^3}\cdot e^x}{e^x}dx.$

2. *а)* $\int \frac{(x+3)(\sqrt{x}-1)}{\sqrt{x}}dx;$ б) $\int \frac{4-\sin^2 x}{2-\sin x}dx.$

3. *а)* $\int \frac{1}{x^3}\left(3x^2-\frac{1}{x^6}\right)dx;$ б) $\int \frac{x^2-6}{x^4-36}dx.$

4. *а)* $\int \frac{5x^2-4x+12}{x^2}dx;$ б) $\int \frac{1-4\sin^2 x}{\sin^2 x}dx.$

5. *а)* $\int \frac{\left(\sqrt{x}+2\right)x}{\sqrt[3]{x}}dx;$ б) $\int \frac{x^2-4x+3}{x-3}dx.$

6. *а)* $\int x\left(\sqrt{x}-9\right)\left(\sqrt{x}+9\right)dx;$ б) $\int \frac{5x\sin x+2}{x}dx.$

7. *а)* $\int \frac{5}{x^2}\left(\frac{x}{25}-x^2\right)dx;$ б) $\int \frac{(81-x^2)dx}{x-9}.$

8. *а)* $\int\left(\frac{3}{x}+4\right)\cdot\left(\sqrt{x}+1\right)dx;$ б) $\int \frac{6+x^2}{36-x^4}dx.$

9. *а)* $\int\left(\frac{1}{x^2}+\frac{1}{\sqrt{x}}\right)\cdot xdx;$ б) $\int \frac{\sqrt{x^2+3}\,dx}{x^2+3}.$

10. *а)* $\int \frac{7x^2+6x-5}{x^2}dx;$ б) $\int \frac{x^2-6x+5}{x-5}dx.$

11. *а)* $\int \frac{7\sqrt{x}+x\cdot\sqrt[3]{x}}{x^2}dx;$ б) $\int \frac{(1-\cos^2 x)dx}{x^2\cdot\sin^2 x}.$

12. *а)* $\int (x+2)(1-x)\sqrt{x}\,dx;$ б) $\int \frac{4e^{5x}-x^4\cdot e^{4x}dx}{e^{4x}}dx.$

13. *а)* $\int x^2\cdot\sqrt{x}\cdot\sqrt[3]{x^4}\,dx;$ б) $\int \frac{\sin^2 5x+\cos^2 5x}{\sqrt{16-x^2}}dx.$

14. *а)* $\int (x^2\cdot\sqrt{x}-4x^3+3)\,dx;$ б) $\int (1+x+tg^2 x)\,dx.$

15. *а)* $\int x\cdot\left(\frac{7}{x^3}+\frac{2}{x^2}+3\right)dx;$ б) $\int(4+ctg^2x)\,dx\,.$

16. *а)* $\int\frac{(x^3\sqrt{x}-2x)dx}{x^3};$ б) $\int\frac{\sqrt{64-x^2}}{64-x^2}dx\,.$

17. *а)* $\int\frac{\sqrt[5]{x}\cdot\sqrt[5]{x^4}-\sqrt[4]{x^5}}{x}dx;$ б) $\int 4\sin\frac{x}{4}\cdot\cos\frac{x}{4}\cdot\cos\frac{x}{2}dx\,.$

18. *а)* $\int\frac{16x^4-1(x^3\sqrt{x}-2x)}{(2x-1)(2x+1)}dx;$ б) $\int\frac{20dx}{\cos(1+tg^2x)}dx\,.$

19. *а)* $\int\frac{x^3-2x^2+x}{x-1}dx;$ б) $\int e^x(12e^{-x}+3)\,dx\,.$

20. *а)* $\int x\left(\sqrt{x}-1\right)\cdot\frac{9}{x}\,dx;$ б) $\int\frac{(x-3)(x+3)}{x^4-81}dx.$

21. *а)* $\int(7x+2)\left(\frac{7}{x}-1\right)dx;$ б) $\int\frac{x^2\cdot\cos x\,dx}{2\cdot\left(\cos^2\frac{x}{2}-\sin^2\frac{x}{2}\right)}.$

22. *а)* $\int x^3\left(x^{\frac{4}{3}}+\sqrt[3]{x^2}\right)dx;$ б) $\int\frac{x^2-6x-8}{x-2}dx.$

23. *а)* $\int\frac{x^3-16x}{x+4}dx;$ б) $\int\frac{x^3e^x+3e^{2x}}{e^x}dx.$

24. *а)* $\int\frac{x^3-2\sqrt[3]{x}+3}{x}dx;$ б) $\int\frac{1+x\sqrt{9-x^2}}{\sqrt{9-x^2}}dx\,.$

25. *а*) $\int \frac{\left(2\sqrt{x}+1\right)^2}{\sqrt{x}}dx;$ б) $\int \frac{x\cdot(x^2+1)}{\sqrt{\sin^2 x+\cos^2 x}}dx.$

26. *а*) $\int \frac{3}{x^3}\left(\frac{x^2}{3}+x^3+1\right)dx;$ б) $\int \left(e^x+4e^{2x}\right)e^{-x}\,dx.$

27. *а*) $\int \frac{3x^2+1}{x\sqrt{x}}dx;$ б) $\int 3x^2\cdot\left(\frac{1}{x^3\sin x}+\frac{1}{3x^2}\right)dx.$

28. *а*) $\int (3x^2-1)\cdot x\sqrt{x}\,dx;$ б) $\int \frac{x^2+3}{x^4-9}dx.$

29. *а*) $\int \frac{2x\sqrt{x}+3x+12}{x}dx;$ б) $\int \frac{3x^2}{\cos x}\left(\frac{2\cos x}{x^3}-\frac{\cos^2 x}{x^2}\right)dx\,.$

30. *а*) $\int \frac{(3x+4)(x-1)}{\sqrt{x}}dx;$ б) $\int \frac{2dx}{1+\cos 2x}.$

3.2. Подведение под знак дифференциала

1. *а*) $\int 3\cos 7x dx;$ *б*) $\int \frac{dx}{\cos^2\left(\frac{x}{3}+1\right)};$ *в*) $\int e^{\sin x-2}\cos x dx.$

2. *а*) $\int 4e^{-5x}dx;$ *б*) $\int \frac{dx}{\sin^2\left(\frac{x}{2}+7\right)};$ *в*) $\int \frac{\sin x dx}{\cos x+1}.$

3. *а*) $\int 2\sin\frac{x}{10}dx;$ *б*) $\int \frac{dx}{(5x+8)^2};$ *в*) $\int \frac{e^x dx}{\sqrt{1-e^{2x}}}.$

4. *а*) $\int \frac{7dx}{\cos^2 3x}$; *б*) $\int e^{\frac{x}{2}+3}dx$; *в*) $\int \frac{\sqrt{\ln x+2}}{x}dx$.

5. *а*) $\int \frac{3dx}{\sin^2 \frac{x}{4}}$; *б*) $\int \cos(2-5x)dx$; *в*) $\int \frac{xdx}{x^2+3}$.

6. *а*) $\int \frac{5dx}{9+4x^2}$; *б*) $\int \sin\left(\frac{1}{3}x+4\right)dx$; *в*) $\int \cos\left(x^3+3\right)x^2dx$.

7. *а*) $\int \frac{6dx}{\sqrt{4-9x^2}}$; *б*) $\int (5x+1)^8 dx$; *в*) $\int \frac{\sqrt{\text{tg}x}\,dx}{\cos^2 x}$.

8. *а*) $\int 2\cos\frac{x}{4}dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sqrt{4x-3}}$; *в*) $\int \frac{dx}{\text{ctg}^3 x \cdot \sin^2 x}$.

9. *а*) $\int 3e^{\frac{x}{7}}dx$; *б*) $\int \frac{dx}{(5x+2)^3}$; *в*) $\int \frac{\text{arctg}^4 xdx}{1+x^2}$.

10. *а*) $\int 5\sin 8x\,dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sin^2\left(\frac{x}{4}+1\right)}$; *в*) $\int \frac{\arcsin^3 xdx}{\sqrt{1-x^2}}$.

11. *а*) $\int \frac{3dx}{\cos^2 \frac{x}{10}}$; *б*) $\int (7x-2)^5 dx$; *в*) $\int \text{ctg}\ xdx$. .

12. *а*) $\int \frac{4dx}{\sin^2 10x}$; *б*) $\int e^{\frac{x}{5}+2}dx$; *в*) $\int \cos^2 x \sin x\,dx$. .

13. *а*) $\int \frac{7dx}{25+9x^2}$; *б*) $\int \cos\left(\frac{x}{4}-7\right)dx$; *в*) $\int \frac{e^x\,dx}{e^x+5}$.

14. *а*) $\int \frac{3dx}{\sqrt{36-25x^2}}$; *б*) $\int \sin\left(\frac{x}{7}+4\right)dx$; *в*) $\int \frac{\sqrt[3]{\ln x}}{x}dx$.

15. *а*) $\int 2\cos 8x dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sqrt{\frac{x}{3}+1}}$; *в*) $\int \frac{x^2 dx}{x^3+4}$.

16. *а*) $\int 3e^{-\frac{x}{7}}dx$; *б*) $\int e^{-3x^2}xdx$; *в*) $\int \frac{dx}{\sin^2(4x-5)}$.

17. *а*) $\int 25\sin\frac{x}{9}dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sqrt{tgx}\cdot\cos^2 x}$; *в*) $\int \frac{dx}{\cos^2(4x+7)}$.

18. *а*) $\int \frac{6dx}{\cos^2 5x}$; *б*) $\int \frac{e^{-2ctgx}dx}{\sin^2 x}$; *в*) $\int e^{-\frac{x}{7}+2}dx$.

19. *а*) $\int \frac{4dx}{\sin^2\frac{x}{6}}$; *б*) $\int \frac{dx}{(1+x^2)arctg^2 x}$; *в*) $\int \frac{dx}{5x-3}$.

20. *а*) $\int \frac{3dx}{16+25x^2}$; *б*) $\int \frac{e^{\arcsin x}dx}{\sqrt{1-x^2}}$; *в*) $\int\left(3x+\frac{1}{7}\right)^4 dx$.

21. *а*) $\int \frac{5dx}{\sqrt{16-9x^2}}$; *б*) $\int \sqrt{\cos x}\sin x dx$; *в*) $\int \cos\left(\frac{x}{2}+1\right)dx$.

22. *а*) $\int 5\cos\ 9x dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\cos^2\left(\frac{x}{5}+3\right)}$; *в*) $\int \frac{\cos x dx}{1+\sin^2 x}$.

23. *а*) $\int 5e^{5x} dx$; *б*) $\int \frac{e^x dx}{e^x - 4}$; *в*) $\int \frac{dx}{\sin^2\left(\frac{x}{8}-3\right)}$.

24. *а*) $\int 3\sin\frac{2}{5}x dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x+7}}$; *в*) $\int \frac{\cos(\ln x)}{x} dx$.

25. *а*) $\int \frac{4dx}{\cos^2 \frac{x}{12}}$; *б*) $\int e^{-3x^2} x dx$; *в*) $\int e^{-4x+5} dx$.

26. *а*) $\int \frac{dx}{\sin^2 \frac{4x}{5}}$; *б*) $\int e^{2x^3} x^2 dx$; *в*) $\int \cos(3x+8) dx$.

27. *а*) $\int \frac{6dx}{9+16x^2}$; *б*) $\int \frac{\cos(tgx)dx}{\cos^2 x}$; *в*) $\int \sin\left(\frac{x}{10}+10\right) dx$.

28. *а*) $\int \frac{7dx}{\sqrt{64-25x^2}}$; *б*) $\int \frac{dx}{7x-5}$; *в*) $\int \frac{e^{\mathrm{ctgx}} dx}{\sin^2 x}$.

29. *а*) $\int \sin\frac{3x}{7} dx$; *б*) $\int \frac{dx}{\sqrt[3]{x-7}}$; *в*) $\int \frac{\sqrt[3]{\mathrm{arctg}\, x}}{1+x^2} dx$.

30. *а*) $\int e^{-\frac{2x}{5}} dx$; *б*) $\int \sqrt{4x-5} dx$; *в*) $\int \frac{dx}{\arcsin^3 x \cdot \sqrt{1-x^2}}$.

3.3. Замена переменной

1. *а*) $\int \frac{dx}{e+2\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{e^{3x}dx}{e^x+3}$ $\left[e^x=t\right]$.

2. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{2x-1}}$; *б*) $\int x(5x-1)^{19}dx$ $\left[5x-1=t\right]$.

3. *а*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x-9}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2+4}}$ $\left[x=\frac{2}{t}\right]$.

4. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x}+\sqrt[3]{x}}$; *б*) $\int \frac{xdx}{(3-x)^7}$ $\left[3-x=t\right]$.

5. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}+\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{4-x^2}}$ $\left[x=\frac{2}{t}\right]$.

6. *а*) $\int \frac{dx}{x-3\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{e^x-2}$ $\left[e^x=t\right]$.

7. *а*) $\int \frac{xdx}{\sqrt{x+2}}$; *б*) $\int x(1-3x)^8dx$ $\left[1-3x=t\right]$.

8. *а*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x+1}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2+9}}$ $\left[x=\frac{3}{t}\right]$.

9. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x}+2\sqrt[3]{x}}$; *б*) $\int \frac{xdx}{(4x+5)^{10}}$ $\left[4x+5=t\right]$.

10. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}+4\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{9-x^2}}$ $\left[x=\frac{3}{t}\right]$.

11. *а*) $\int \frac{dx}{x+3\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{e^x+5}$ $[x=\ln t]$.

12. *а*) $\int \frac{(x+1)dx}{\sqrt{3x+2}}$; *б*) $\int x(3-2x)^{11}dx$ $[3-2x=t]$.

13. *а*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x+36}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2+25}}$ $\left[x=\frac{5}{t}\right]$.

14. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x}-2\sqrt[3]{x}}$; *б*) $\int \frac{xdx}{(3x+4)^6}$ $[3x+4=t]$.

15. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}-4\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2-25}}$ $\left[x=\frac{5}{t}\right]$.

16. *а*) $\int \frac{dx}{x+2\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{e^{3x}dx}{e^x-4}$ $[x=\ln t]$.

17. *а*) $\int \frac{(1-x)dx}{\sqrt{x-5}}$; *б*) $\int x(3x+1)^8 dx$ $[3x+1=t]$.

18. *а*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x+16}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{16-x^2}}$ $\left[x=\frac{4}{t}\right]$.

19. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x}-5\sqrt[3]{x}}$; *б*) $\int \frac{xdx}{(5-x)^8}$ $[5-x=t]$.

20. *а*) $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}+9\sqrt{x}}$; *б*) $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2-9}}$. $\left[x=\frac{3}{t}\right]$.

21. *а)* $\int \frac{dx}{x-7\sqrt{x}}$; *б)* $\int \frac{dx}{e^x-4}$ $\left[x=\ln t\right]$.

22. *а)* $\int \frac{(x-3)\,dx}{\sqrt{5x-1}}$; *б)* $\int x(5x+3)^9\,dx$ $\left[5x+3=t\right]$.

23. *а)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x-25}}$; *б)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2-16}}$ $\left[x=\frac{4}{t}\right]$.

24. *а)* $\int \frac{dx}{\sqrt{x}+4\sqrt[3]{x}}$; *б)* $\int \frac{xdx}{(3-x)^9}$ $\left[3-x=t\right]$.

25. *а)* $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}-9\sqrt{x}}$; *б)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2-49}}$ $\left[x=\frac{7}{t}\right]$.

26. *а)* $\int \frac{dx}{x-7\sqrt{x}}$; *б)* $\int \frac{e^{3x}dx}{e^x-3}$ $\left[e^x=t\right]$.

27. *а)* $\int \frac{x\,dx}{\sqrt{7x+5}}$; *б)* $\int x(2x-5)^5\,dx$ $\left[2x-5=t\right]$.

28. *а)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{2x+25}}$; *б)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{x^2+64}}$ $\left[x=\frac{8}{t}\right]$.

29. *а)* $\int \frac{dx}{\sqrt{x}+6\sqrt[3]{x}}$; *б)* $\int \frac{xdx}{(3x+1)^7}$ $\left[3x+1=t\right]$.

30. *а)* $\int \frac{dx}{\sqrt{x^3}+49\sqrt{x}}$; *б)* $\int \frac{dx}{x\sqrt{81-x^2}}$ $\left[x=\frac{9}{t}\right]$.

3.4. Интегрирование по частям

1. *а*) $\int x\cos\frac{x}{3}dx$; *б*) $\int \ln(x+4)\,dx$; *в*) $\int \sqrt{x^2+9}\,dx$.

2. *а*) $\int (2x+1)e^{-3x}dx$; *б*) $\int \arcsin 5x\,dx$; *в*) $\int \cos\ln 2x dx$.

3. *а*) $\int\left(\frac{x}{2}-1\right)\sin 2x dx$; *б*) $\int (x+4)\ln x dx$; *в*) $\int e^{3x}\cos x dx$.

4. *а*) $\int(8x+3)\cos 8x dx$; *б*) $\int \ln 8x dx$; *в*) $\int \sin(15\ln x)\,dx$.

5. *а*) $\int(x+4)\ln 5x dx$; *б*) $\int\left(x^2-1\right)5^{-x}dx$; *в*) $\int\sqrt{x^2-1}\,dx$.

6. *а*) $\int\left(1-\frac{5}{2}x\right)\sin 5x dx$; *б*) $\int(2x-5)\ln x dx$; *в*) $\int e^x\sin\frac{x}{4}dx$.

7. *а*) $\int x\cos\left(\frac{x}{5}-1\right)dx$; *б*) $\int \operatorname{arctg} 2x dx$; *в*) $\int e^{4x}\sin x dx$.

8. *а*) $\int\left(\frac{x}{5}+7\right)e^{0,1x}dx$; *б*) $\int x\operatorname{arctg} x dx$; *в*) $\int \sin\ln x dx$.

9. *а*) $\int(7x+1)\sin\frac{x}{7}dx$; *б*) $\int x^{-5}\ln x dx$; *в*) $\int \operatorname{arctg}^2 x dx$.

10. *а*) $\int x\cos\left(5-\frac{x}{10}\right)dx$; *б*) $\int \arccos 3x dx$; *в*) $\int e^x\sin 2x dx$.

11. *а*) $\int\left(x^2-2x\right)\ln x dx$; *б*) $\int x\cdot 10^{5x}dx$; *в*) $\int e^{3x}\cdot\cos x dx$.

12. *а*) $\int \ln 12x dx$; *б*) $\int x\left(\cos^2 x-\sin^2 x\right)dx$; *в*) $\int\sqrt{x^2+7}\,dx$.

13. *а*) $\int x^2\sin x dx$; *б*) $\int \ln(7x+9)\,dx$; *в*) $\int \arcsin^2 x dx$.

14. *а*) $\int(2x+7)\cos\frac{1}{7}x dx$; *б*) $\int \operatorname{arctg}\frac{1}{x}dx$; *в*) $\int e^{5x}\cdot\sin x dx$.

15. *а)* $\int x \cdot e^{x+100} dx$; *б)* $\int \ln 12x\, dx$; *в)* $\int \cos \ln 5x dx$.

16. *а)* $\int (12x+1) \cdot e^{\frac{x}{2}} dx$; *б)* $\int \left(x^2 - 4x + 4\right) \ln x dx$; *в)* $\int \sin(5 \ln x) dx$.

17. *а)* $\int (x+7) \cdot \sin 7x dx$; *б)* $\int x^{100} \cdot \ln x\, dx$; *в)* $\int e^{20x} \cdot \cos x dx$.

18. *а)* $\int x \cdot \cos(7x+9)\, dx$; *б)* $\int \ln(10-x)\, dx$; *в)* $\int \sqrt{x^2 - 10}\, dx$.

19. *а)* $\int 2x \sin 4x \cdot \cos 4x\, dx$; *б)* $\int x^2 \cdot \ln x dx$; *в)* $\int e^x \cdot \cos 12x dx$.

20. *а)* $\int x^{\frac{3}{2}} \cdot \ln x dx$; *б)* $\int x^2 \cdot e^{3x} dx$; *в)* $\int \sqrt{x^2 + 12}\, dx$.

21. *а)* $\int x \cdot \sin \pi x dx$; *б)* $\int x^5 \cdot \ln 5x dx$; *в)* $\int \arccos^2 x\, dx$.

22. *а)* $\int x \cdot \left(\cos^2 \frac{x}{2} - \sin^2 \frac{x}{2}\right) dx$; *б)* $\int x^{-\frac{1}{2}} \operatorname{arctg} \sqrt{x} dx$; *в)* $\int \sin 3x dx$.

23. *а)* $\int (7x-4) \cdot e^{4-x} dx$; *б)* $\int \frac{\ln x}{(1+x)^2} dx$; *в)* $\int \cos(3 \ln x)\, dx$.

24. *а)* $\int (x+10) \ln 10x dx$; *б)* $\int (1+x)^2 \cdot e^x dx$; *в)* $\int \sin \ln 7x\, dx$.

25. *а)* $\int \lg(10x + 0{,}5)\, dx$; *б)* $\int x \cdot \cos \frac{2x}{\pi} dx$; *в)* $\int 2 \sin \ln x \cdot \cos \ln x\, dx$.

26. *а)* $\int (x+9) \cdot \sin \frac{x}{9} dx$; *б)* $\int \left(1 + x^2\right)^2 \cdot \ln x\, dx$; *в)* $\int 2e^x \cdot \sin x \cos x dx$.

27. *а)* $\int \left(9 - \frac{7}{2}x\right) \cdot \sin 2x dx$; *б)* $\int \arccos 2x\, dx$; *в)* $\int \frac{e^x \cdot \sin x}{\operatorname{tg} x} dx$.

28. *а)* $\int x \cdot \sin\left(9 - \frac{7x}{2} dx\right)$; *б)* $\int \frac{\ln(x+1)}{(x+1)^2} dx$; *в)* $\int \cos \ln x\, dx$.

29. *а*) $\int (x+7)\cdot\cos(x+7)\,dx$; *б*) $\int x\cdot\ln x^7\,dx$; *в*) $\int e^x\cdot(1+\cos 3x)\,dx$.

30. *а*) $\int\left(x^2-2x-3\right)\cdot\ln x dx$; *б*) $\int\frac{x\cdot\sin^3 x}{1-\cos^2 x}dx$; *в*) $\int\frac{\sin 2x}{e^{2x}}dx$.

3.5. Интегрирование рациональных дробей

1. *а*) $\int\frac{2x+3}{x^2-2x+5}dx$; *б*) $\int\frac{8x-2}{x^3+x^2-2x}dx$;

в) $\int\frac{2x^2-2x+1}{x^3-2x^2+x}dx$; *г*) $\int\frac{x^5+7x^3+x^2+12x+1}{x^4+5x^2+4}dx$.

2. *а*) $\int\frac{3x+2}{x^2+2x+5}dx$; *б*) $\int\frac{4x^2-11x+3}{x^3-4x^2+3x}dx$;

в) $\int\frac{2x^2+4x+1}{x^3+2x^2+x}dx$; *г*) $\int\frac{x^5+6x^3+x^2+5x+3}{x^4+4x^2+3}dx$.

3. *а*) $\int\frac{1-2x}{x^2-2x+2}dx$; *б*) $\int\frac{5x-3}{x^3-2x^2-3x}dx$;

в) $\int\frac{2x^2-5x+4}{x^3-4x^2+4x}dx$; *г*) $\int\frac{x^5+5x^3+x^2+4x+2}{x^4+3x^2+2}dx$.

4. *а*) $\int\frac{2-3x}{x^2+2x+2}dx$; *б*) $\int\frac{2x^2+3x+3}{x^3+2x^2-3x}dx$;

в) $\int\frac{2x^2+7x+4}{x^3+4x^2+4x}dx$; *г*) $\int\frac{x^5+7x^3+x^2+10x+3}{x^4+5x^2+6}dx$.

5. *а*) $\int\frac{3-2x}{x^2+4x+5}dx$; *б*) $\int\frac{4x^2-7x+2}{x^3-3x^2+2x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-8x+9}{x^3-6x^2+9x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+8x^3+x^2+16x+2}{x^4+6x^2+8}dx.$

6. *а*) $\int \frac{3x-4}{x^2+4x+5}dx;$ *б*) $\int \frac{8x-6}{x^3+x^2-6x}dx;$

в) $\int \frac{2x^2+10x+9}{x^3+6x^2+9x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+9x^3+x^2+20x+3}{x^4+7x^2+12}dx.$

7. *а*) $\int \frac{5+2x}{x^2-6x+10}dx;$ *б*) $\int \frac{4x^2-6}{x^3-x^2-6x}dx;$

в) $\int \frac{3x^2-2x+1}{x^3-2x^2+x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+6x^3+x^2+8x+1}{x^4+5x^2+4}dx.$

8. *а*) $\int \frac{2-5x}{x^2+6x+10}dx;$ *б*) $\int \frac{4x^2-7x-3}{x^3-2x^2-3x}dx;$

в) $\int \frac{3x^2+5x+1}{x^3+2x^2+x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+6x^3-x^2+5x-3}{x^4+4x^2+3}dx.$

9. *а*) $\int \frac{1-4x}{x^2-2x+10}dx;$ *б*) $\int \frac{4x^2-4x-2}{x^3-x^2-2x}dx;$

в) $\int \frac{3x^2-7x+4}{x^3-4x^2+4x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+5x^3-x^2+4x-2}{x^4+3x^2+2}dx.$

10. *а*) $\int \frac{5x+3}{x^2+2x+10}dx;$ *б*) $\int \frac{2x^2-6x-2}{x^3+x^2-2x}dx;$

в) $\int \frac{3x^2+9x+4}{x^3+4x^2+4x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+7x^3-x^2+10x-3}{x^4+5x^2+6}dx.$

11. *а*) $\int \frac{5x+2}{x^2-6x+13}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-3x-3}{x^3-4x^2+3x}dx$;

в) $\int \frac{3x^2-11x+9}{x^3-6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+8x^3-x^2+16x-2}{x^4+6x^2+8}dx$.

12. *а*) $\int \frac{4-2x}{x^2+6x+13}dx$; *б*) $\int \frac{2-3x}{x^3-3x^2+2x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2+8x+9}{x^3+6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+9x^3+x^2+18x+4}{x^4+7x^2+12}dx$.

13. *а*) $\int \frac{3x-1}{x^2-4x+8}dx$; *б*) $\int \frac{-8x-6}{x^3-x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{3x^2-3x+2}{x^3-2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+6x^3-x^2+8x-1}{x^4+5x^2+4}dx$.

14. *а*) $\int \frac{3x-5}{x^2+4x+8}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-6x-6}{x^3+x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2+5x+1}{x^3+2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+5x^3+2x^2+4x+6}{x^4+4x^2+3}dx$.

15. *а*) $\int \frac{2x+3}{x^2-4x+13}dx$; *б*) $\int \frac{-5x-3}{x^3+2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-4x+4}{x^3-4x^2+4x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+4x^3+2x^2+3x+4}{x^4+3x^2+2}dx$.

16. *а*) $\int \frac{3x-7}{x^2+4x+13}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-3x+2}{x^3-3x^2+2x}dx$;



17. *а*) $\int \frac{2x+1}{x^2-6x+18}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2+6x-6}{x^3-x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-7x+9}{x^3-6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+4x^3+x^2+2}{x^4+6x^2+8}dx$.

18. *а*) $\int \frac{2x-1}{x^2+6x+18}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-3x+3}{x^3-2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2+7x+9}{x^3+6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+9x^3-x^2+20x-3}{x^4+7x^2+12}dx$.

19. *а*) $\int \frac{3x-4}{x^2-2x+17}dx$; *б*) $\int \frac{4x^2+2}{x^3+x^2-2x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-x+1}{x^3-2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+6x^3+x^2+5x+4}{x^4+5x^2+4}dx$.

20. *а*) $\int \frac{4x+3}{x^2+2x+17}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-9x+3}{x^3-4x^2+3x}dx$;

в) $\int \frac{3x^2+6x+1}{x^3+2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+5x^3-2x^2+4x-6}{x^4+4x^2+3}dx$.

21. *а*) $\int \frac{3x-4}{x^2-4x+20}dx$; *б*) $\int \frac{2x-2}{x^3-2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{3x^2-9x+8}{x^3-4x^2+4x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+4x^3-2x^2+3x-4}{x^4+3x^2+2}dx$.

22. *а*) $\int \frac{3x+2}{x^2+4x+20}dx$; *б*) $\int \frac{4x^2+7x-3}{x^3+2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2+3x+4}{x^3+4x^2+4x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+7x^3-x^2+12x-2}{x^4+5x^2+6}dx$.

23. *а*) $\int \frac{2x+3}{x^2-4x+29}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-2x+6}{x^3+x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-11x+9}{x^3-6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+8x^3+x^2+12x+4}{x^4+6x^2+8}dx$.

24. *а*) $\int \frac{2x-3}{x^2+4x+29}dx$; *б*) $\int \frac{3x^2+2x+6}{x^3-x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{5x+9}{x^3+6x^2+9x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+5x^3+x^2+4x+3}{x^4+7x^2+12}dx$.

25. *а*) $\int \frac{4x-7}{x^2-2x+26}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2+9x-3}{x^3+2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-5x+1}{x^3-2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+6x^3-x^2+5x-4}{x^4+5x^2+4}dx$.

26. *а*) $\int \frac{4x+5}{x^2+2x+26}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-x-2}{x^3-3x^2+2x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2+2x+1}{x^3+2x^2+x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+6x^3+7x}{x^4+4x^2+3}dx$.

27. *а*) $\int \frac{5x-1}{x^2-6x+25}dx$; *б*) $\int \frac{2x^2-9x-3}{x^3-2x^2-3x}dx$;

в) $\int \frac{2x^2-9x+4}{x^3-4x^2+4x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+2x^3+2x^2+x+4}{x^4+3x^2+2}dx$.

28. *а*) $\int \frac{5x-3}{x^2+6x+25}dx$; *б*) $\int \frac{6x^2+2x-2}{x^3+x^2-2x}dx$;

в) $\int \frac{x^2+3x+8}{x^3+4x^2+4x}dx$; *г*) $\int \frac{x^5+3x^3+x^2+2}{x^4+5x^2+6}dx$.

29. *а*) $\int \frac{4x-3}{x^2-8x+17}dx$; *б*) $\int \frac{4x^2-6}{x^3+x^2-6x}dx$;

в) $\int \frac{x^2-11x+18}{x^3-6x^2+9x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+8x^3-x^2+12x-4}{x^4+6x^2+8}dx.$

30. *а*) $\int \frac{2x+7}{x^2+8x+17}dx;$ *б*) $\int \frac{x+3}{x^3-4x^2+3x}dx;$

в) $\int \frac{x^2+7x+18}{x^3+6x^2+9x}dx;$ *г*) $\int \frac{x^5+9x^3-x^2+18x-4}{x^4+7x^2+12}dx.$

3.6. Интегрирование тригонометрических функций

1. *а*) $\int \cos^2\frac{x}{3}dx;$ *б*) $\int \cos^3 x\cdot\sin^2 xdx;$ *в*) $\int \sin 4x\cdot\cos 5xdx.$
2. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{3}dx;$ *б*) $\int \sin^3 x\cdot\cos^2 xdx;$ *в*) $\int \sin 3x\cdot\sin 7xdx.$
3. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{2}\cdot\cos^2\frac{x}{2}dx;$ *б*) $\int \cos^3 x\sqrt{\sin x}\,dx;$ *в*) $\int \cos 3x\cdot\cos 8x\,dx.$
4. *а*) $\int \cos^2\frac{x}{5}dx;$ *б*) $\int \sin^3 x\cdot\sqrt{\cos x}\,dx;$ *в*) $\int \sin 7x\cdot\cos 5xdx.$
5. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{5}dx;$ *б*) $\int \frac{\cos^3 x\,dx}{\sqrt[3]{\sin^2 x}};$ *в*) $\int \sin 6x\cdot\sin 2xdx.$
6. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{4}\cdot\cos^2\frac{x}{4}dx;$ *б*) $\int \frac{\sin^3 xdx}{\sqrt{\cos x}}dx;$ *в*) $\int \cos 5x\cdot\cos 7x\,dx$
7. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{6}dx;$ *б*) $\int \frac{\sin^3 x\,dx}{\sqrt[3]{\cos^2 x}};$ *в*) $\int \cos 4x\cdot\cos 7x\,dx.$
9. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{6}\cdot\cos^2\frac{x}{6}dx;$ *б*) $\int \cos^3 x\cdot\sin^4 x\,dx;$ *в*) $\int \cos 7x\cdot\sin 4x\,dx.$
10. *а*) $\int \cos^2\frac{2x}{5}dx;$ *б*) $\int \sin^3 x\cdot\cos^4 xdx;$ *в*) $\int \sin 11x\cdot\sin 5xdx.$
11. *а*) $\int \sin^2\frac{2x}{5}dx;$ *б*) $\int \cos^3 x\cdot x\sqrt[4]{\sin^3}\,dx;$ *в*) $\int \cos 9x\cdot\cos 6x\,dx.$

12. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{5}\cdot\cos^2\frac{x}{5}dx$; *б*) $\int \sin^3 x\sqrt[3]{\cos^2 x}\,dx$; *в*) $\int \cos 6x\cdot\sin 4x\,dx$.

13. *а*) $\int \cos^2\frac{x}{7}dx$; *б*) $\int \cos^3 x\cdot\sqrt[3]{\sin x}\,dx$; *в*) $\int \sin 12x\cdot\cos 8x dx$.

14. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{7}$; *б*) $\int \sin^3 x\cdot\sqrt[4]{\cos x}\,dx$; *в*) $\int \cos 8x\cdot\cos 5x\,dx$.

15. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{7}\cdot\cos^2\frac{x}{7}dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x dx}{\sin x\sqrt{\sin x}}dx$; *в*) $\int \sin 7x\cdot\cos 3x\,dx$.

16. *а*) $\int \cos^2\frac{x}{8}dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x\,dx}{\cos x\sqrt{\cos x}}$; *в*) $\int \sin 5x\cdot\sin 8x\,dx$.

17. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{8}dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x\,dx}{\sqrt[5]{\sin^4 x}}dx$; *в*) $\int \cos 7x\cdot\cos 10x dx$.

18. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{8}\cdot\cos^2\frac{x}{8}dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x dx}{\sqrt[5]{\cos^3 x}}dx$; *в*) $\int \cos 5x\cdot\sin 6x\,dx$.

19. *а*) $\int \cos^2\frac{x}{9}dx$; *б*) $\int \cos^3 x\cdot\sqrt[7]{\sin^4 x}\,dx$; *в*) $\int \sin 7x\cdot\sin 11x dx$.

20. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{9}dx$; *б*) $\int \sin^3 x\cdot\sqrt[7]{\cos^4 x}\,dx$; *в*) $\int \cos 9x\cdot\cos 11x\,dx$.

21. *а*) $\int \sin^2\frac{x}{9}\cdot\cos^2\frac{x}{9}dx$; *б*) $\int \cos^3 x\cdot\sqrt[5]{\sin^4 x}\,dx$; *в*) $\int \cos 11x\cdot\sin 5x\,dx$.

22. *а*) $\int \cos^2\frac{2x}{3}dx$; *б*) $\int \sin^3 x\cdot\sqrt[5]{\cos^4 x}\,dx$; *в*) $\int \sin 12x\cdot\sin 7x dx$.

23. *а*) $\int \sin^2\frac{2x}{3}dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x dx}{\sin x\sqrt{\sin x}}$; *в*) $\int \cos 13x\cdot\cos 5x\,dx$.

24. *а*) $\int \sin^2\frac{2x}{3}\cdot\cos^2\frac{2x}{3}dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x dx}{\cos x\cdot\sqrt[3]{\cos x}}$; *в*) $\int \cos 9x\cdot\sin 4x\,dx$.

25. *а*) $\int \cos^2\frac{3x}{4}dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x dx}{\sqrt[4]{\sin^3 x}}$; *в*) $\int \sin 13x\cdot\sin 8x\,dx$.

26. *а*) $\int \sin^2\frac{3x}{4}dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x dx}{\sqrt[4]{\cos^3 x}}$; *в*) $\int \sin 12x\cdot\sin 8x\,dx$.

27. *а*) $\int \sin^2 \frac{3x}{4} \cdot \cos^2 \frac{3x}{4} dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x dx}{\sqrt[7]{\sin^5 x}}$; *в*) $\int \sin 5x \cdot \cos 8x \, dx$.

28. *а*) $\int \cos^2 \frac{3x}{5} dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x dx}{\sqrt[7]{\sin^5 x}}$; *в*) $\int \sin 14x \cdot \sin 9x \, dx$.

29. *а*) $\int \sin^2 \frac{3x}{5} dx$; *б*) $\int \frac{\cos^3 x dx}{\sqrt[6]{\sin^5 x}}$; *в*) $\int \cos 15x \cdot \cos 11x \, dx$.

30. *а*) $\int \sin^2 \frac{3x}{5} \cdot \cos^2 \frac{3x}{5} dx$; *б*) $\int \frac{\sin^3 x dx}{\sqrt[6]{\cos^5 x}}$; *в*) $\int \sin 9x \cdot \cos 3x \, dx$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. Высшая математика в упражнниях и задачах. Часть 1. – М.: ООО “Изд-во Оникс”, 2008. – 368 с.

Письменный Д. Т. Конспект лекций по математике. Часть 1. – М.: Изд.-во Айрис-пресс, 2012. – 281 с.



Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Г. В. Петровских, В. Б. Пяткова,
О. Е. Турова

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……...4
1. ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ …….……5
1. 1. Понятия определенного интеграла……..5
1. 2. Свойства определенного интеграла …….……..5
1. 3. Вычисление определенного интеграла ……..6
2. НЕСОБСТВЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЫ.……8
2. 1. Интегрирование по бесконечному промежутку ……...8
2. 2. Интеграл от разрывной функции……...10
3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
ОПРЕДЕЛЕННОГО ИНТЕГРАЛА ……12
3. 1. Площадь плоской фигуры ……..…….…...12
3.2. Объем тела вращения ……..……..... 23
3.3. Длина дуги плоской кривой……..27
4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ …… 30
4. 1. Вычисление определенных интегралов….…….30
4. 2. Несобственные интегралы ……..36
4. 3. Площадь …….……..….40
4. 4. Объем тела вращения ……..46
4. 5. Длина дуги плоской кривой ..…….….47
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……53

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии представлены основные теоретические сведения по теме “Определенный интеграл”, рассмотрены основные методы интегрирования, некоторые приложения к геометрическими задачам, разобраны примеры решения задач.

Работа содержит 30 вариантов наборов задач для самостоятельной работы студентов, которые могут быть использованы для контрольных работ.

Рекомендуется для всех специальностей УГГУ.

1. ОПРЕДЕЛЁННЫЙ ИНТЕГРАЛ

1.1. Понятие определённого интеграла

Определённым интегралом функции $f(x)$ по отрезку $[a;b]$ является число, обозначаемое символом $\int_a^b f(x)dx$ и определяемое как предел интегральной суммы функции на заданном отрезке, а именно

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{\max \Delta x_i \to 0} \sum_{i=1}^{n} f\left(\bar{x}_i\right)\Delta x_i,$$

где $a = x_0 < x_1 < x_2 < \ldots < x_n = b;\ \ x_i \in (x_{i-1}, x_i),\ \ i = 1,\ldots,n;\ \ \Delta x_i = x_i - x_{i-1}.$

1. 2. Свойства определённого интеграла

1. $\int_a^b A \cdot f(x)dx = A \cdot \int_a^b f(x)dx, \quad A = \text{const};$
2. $\int_a^b [f(x) \pm g(x)]dx = \int_a^b f(x)dx \pm \int_a^b g(x)dx;$
3. $\int_a^b f(x)dx = \int_a^c f(x)dx + \int_c^b f(x)dx, \quad c \in (a;b).$

1. 3. Вычисление определённого интеграла

1. Для вычисления определённого интеграла используется формула Ньютона-Лейбница:

$$\int_a^b f(x)dx = F(x)\Big|_a^b = F(b) - F(a),$$

где $F(x)-$ первообразная функции $f(x)$.

2. Если для нахождения первообразной используется введение новой переменной $x = \varphi(t)$ (замена переменной), то

$$\int_a^b f(x)dx = \int_{t(a)}^{t(b)} f\left[\varphi(t)\right]\cdot \varphi'(t)dt,$$

где $t(a)$ и $t(b)$ новые пределы интегрирования, соответствующие переменной t.

При подстановке $u = u(x)$ формула замены переменной имеет вид

$$\int_a^b f\left[u(x)\right]u'(x)\,dx = \int_{u(a)}^{u(b)} f(u)\,du.$$

3. Формула интегрирования по частям для определённого интеграла принимает вид

$$\int_a^b ud\upsilon = u\upsilon\Big|_a^b - \int_a^b \upsilon du.$$

Примеры

1. $$\int_0^4 \sqrt{x}dx = \int_0^4 x^{\frac{1}{2}}dx = \left.\frac{x^{\frac{1}{2}+1}}{\frac{1}{2}+1}\right|_0^4 = \left.\frac{2x^{\frac{3}{2}}}{3}\right|_0^4 = \frac{2\cdot 4^{\frac{3}{2}}}{3} - \frac{2\cdot 0^{\frac{3}{2}}}{3} = \frac{2\cdot 8}{3} = \frac{16}{3}.$$

2. $$\int_0^{\frac{\pi}{2}} 7\cos 3x dx = 7\cdot\frac{1}{3}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos 3x d3x = \left.\frac{7\cdot\sin 3x}{3}\right|_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{7}{3}\left(\sin\frac{3\pi}{2} - \sin 0\right) = -\frac{7}{3}.$$

3. $$\int_1^e \frac{\ln x}{x}dx = \int_1^e \ln x\frac{dx}{x} = \int_1^e \ln x d\ln x = \left.\frac{\ln^2 dx}{2}\right|_1^e = \frac{\ln^2 e}{2} - \frac{\ln^2 1}{2} = \frac{1}{2} - \frac{0}{2} = \frac{1}{2}.$$

4. $$\int_1^4 \frac{\sqrt{x}dx}{1+\sqrt{x^3}} = \left[\begin{array}{l} \sqrt{x} = t, \\ x = t^2, \\ dx = \left(t^2\right)'dt = 2tdt, \\ t(1) = \sqrt{1} = 1;\ t(4) = \sqrt{4} = 2 \end{array}\right] = \int_1^2 \frac{t\cdot 2tdt}{1+t^3} = 2\int_1^2 \frac{t^2dt}{1+t^3} =$$

$$= \frac{2}{3}\int_1^2 \frac{3t^2dt}{1+t^3} = \frac{2}{3}\int_1^2 \frac{d(1+t^3)}{1+t^3} = \frac{2}{3}\ln\left|1+t^3\right|\Big|_1^2 = \frac{2}{3}\left(\ln|1+8| - \ln|1+1|\right) = \frac{2}{3}\ln\frac{9}{2}.$$

2. НЕСОБСТВЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЫ

2. 1. Интегрирование по бесконечному промежутку

Пусть функция $y = f(x)$ определена и непрерывна на промежутке $[a; +\infty)$. Предел $\lim\limits_{b\to\infty}\int\limits_a^b f(x)\,dx$ называют несобственным интегралом первого рода и обозначают $\int\limits_a^{+\infty} f(x)dx$, т. е.

$$\int\limits_a^{+\infty} f(x)dx = \lim_{b\to\infty}\int\limits_a^b f(x)\,dx.$$

Если существует конечный предел $\lim\limits_{b\to\infty}\int\limits_a^b f(x)\,dx$, то говорят, что интеграл $\int\limits_a^{+\infty} f(x)dx$ сходится; если указанный предел не существует или равен бесконечности, интеграл $\int\limits_a^{+\infty} f(x)dx$ является расходящимся.

Аналогично определяются и другие интегралы по бесконечному промежутку

$$\int\limits_{-\infty}^b f(x)dx = \lim_{a\to-\infty}\int\limits_a^b f(x)\,dx$$

и

$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = \int\limits_{-\infty}^{c} f(x)dx + \int\limits_{c}^{+\infty} f(x)dx.$$

В последнем случае интеграл является сходящимся, если сходятся оба интеграла, его составляющие.

Примеры

Найти несобственные интегралы или установить их расходимость.

$$1.\int_2^{\infty}\frac{dx}{x^2-4x+13}=\lim_{b\to\infty}\int_2^{b}\frac{dx}{x^2-4x+13}=\lim_{b\to\infty}\int_2^{b}\frac{dx}{(x-2)^2+9}=\lim_{b\to\infty}\int_2^{b}\frac{d(x-2)}{(x-2)^2+9}=$$

$$=\lim_{b\to\infty}\frac{1}{3}\operatorname{arctg}\frac{x-2}{3}\Bigg|_2^{b}=\frac{1}{3}\lim_{b\to\infty}\left(\operatorname{arctg}\frac{b-2}{3}-\operatorname{arctg}0\right)=\frac{1}{3}\cdot\frac{\pi}{2}=\frac{\pi}{6},$$

интеграл сходится.

$$2.\int_e^{\infty}\frac{\sqrt{\ln x}}{x}=\lim_{b\to\infty}\int_e^{b}\frac{\sqrt{\ln x}\,dx}{x}=\lim_{b\to\infty}\int_e^{b}(\ln x)^{\frac{1}{2}}d(\ln x)=\lim_{b\to\infty}\frac{(\ln x)^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}\Bigg|_e^{b}=$$

$$=\frac{2}{3}\lim_{b\to\infty}\sqrt{(\ln x)^3}\Big|_e^{b}=\frac{2}{3}\lim_{b\to\infty}\left(\sqrt{(\ln b)^3}-\sqrt{(\ln e)^3}\right)=\infty,$$

интеграл расходится.

3. $\int\limits_{-\infty}^{1} \frac{dx}{(x-2)^3} = \lim\limits_{a\to-\infty} \int\limits_{a}^{1} \frac{dx}{(x-2)^3} = \lim\limits_{a\to-\infty} \int\limits_{a}^{1} \frac{d(x-2)}{(x-2)^3} =$

$$= \lim_{a\to-\infty} \int\limits_{a}^{1} (x-2)^{-3} d(x-2) = \lim_{a\to-\infty} \left. \frac{(x-2)^{-2}}{-2} \right|_{a}^{1} = -\frac{1}{2} \lim_{a\to-\infty} \left. \frac{1}{(x-2)^2} \right|_{a}^{1} =$$

$$= -\frac{1}{2} \lim_{a\to-\infty} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{(a-2)^2} \right) = -\frac{1}{2},$$

интеграл сходится.

2. 2. Интеграл от разрывной функции

Пусть функция $y = f(x)$ определена и непрерывна на промежутке $[a; b)$, точка $x = b$ является точкой разрыва второго рода. Предел $\lim\limits_{\xi\to 0} \int\limits_{a}^{b-\xi} f(x)dx$ называют несобственным интегралом второго рода и обозначают $\int\limits_{a}^{b} f(x)dx$, т. е.

$$\int\limits_{a}^{b} f(x)dx = \lim_{\xi\to 0} \int\limits_{a}^{b-\xi} f(x)dx.$$

Если существует конечный предел $\lim\limits_{\xi\to 0} \int\limits_{a}^{b-\xi} f(x)dx$, интеграл является сходящимся.

Если же указанный предел не существует или равен бесконечности, то говорят, что интеграл $\int_a^b f(x)\,dx$ расходится.

Если функция $y = f(x)$ непрерывна на промежутке $(a; b]$, а точка $x = a$ является точкой разрыва второго рода, то

$$\int_a^b f(x)\,dx = \lim_{\xi \to 0} \int_{a+\xi}^b f(x)\,dx .$$

Если точка $x = c$ является точкой разрыва второго рода функции $y = f(x)$, где $c \in (a, b)$, то

$$\int_a^b f(x)\,dx = \int_a^c f(x)\,dx + \int_c^b f(x)\,dx .$$

В последнем случае $\int_a^b f(x)\,dx$ будет сходящимся, если сходятся оба интеграла в правой части.

Примеры

Вычислить несобственные интегралы или установить их расходимость.

$$1.\ \int_4^5 \frac{dx}{\sqrt[3]{x-5}} = \lim_{\xi \to 0} \int_4^{5-\xi} \frac{dx}{\sqrt[3]{x-5}} = \lim_{\xi \to 0} \int_4^{5-\xi} (x-5)^{-\frac{1}{3}} d(x-5) =$$

$$= \lim_{\xi \to 0} \frac{(x-5)^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{3}} \Bigg|_4^{5-\xi} = \frac{3}{2} \lim_{\xi \to 0} \sqrt[3]{(x-5)^2} \Big|_4^{5-\xi} =$$

$$= \frac{3}{2} \lim_{\xi \to 0} \left(\sqrt[3]{(5-\xi-5)^2} - \sqrt[3]{(4-5)^2} \right) = \frac{3}{2} \lim_{\xi \to 0} \left(\sqrt[3]{\xi^2} - \sqrt[3]{1} \right) = -\frac{3}{2},$$

интеграл сходится.

$$2.\ \int_{-2}^{0}\frac{x^2dx}{x^3+8}=\lim_{\xi\to 0}\int_{-2+\xi}^{0}\frac{x^2dx}{x^3+8}=\lim_{\xi\to 0}\int_{-2+\xi}^{0}\frac{\frac{1}{3}d(x^3+8)}{x^3+8}=$$

$$=\frac{1}{3}\lim_{\xi\to 0}\ln\left|x^3+8\right|\Big|_{-2+\xi}^{0}=\frac{1}{3}\lim_{\xi\to 0}\left(\ln 8-\ln\left|(-2+\xi)^3+8\right|\right)=$$

$$=\frac{1}{3}\lim_{\xi\to 0}\left(\ln 8-\ln\left(-8+12\xi-6\xi^2+\xi^3+8\right)\right)=$$

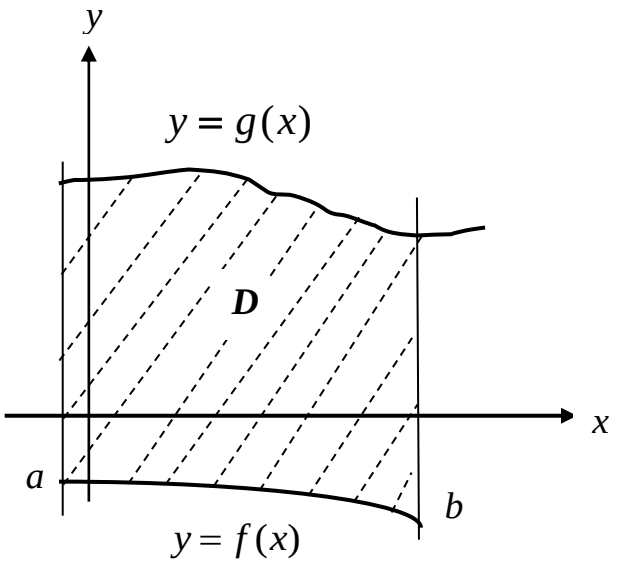
$$=\frac{1}{3}\lim_{\xi\to 0}\left(\ln 8-\ln\left(12\xi-6\xi^2+\xi^3\right)\right)=\infty,$$

интеграл расходится.

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ОПРЕДЕЛЁННОГО ИНТЕГРАЛА

3. 1. Площадь плоской фигуры

а) Площадь криволинейной трапеции D, ограниченной кривыми $y=f(x),\ y=g(x),$ где $f(x)\le g(x)$ и прямыми $x=a$ и $x=b$, где $a<b$ (см. рис.),



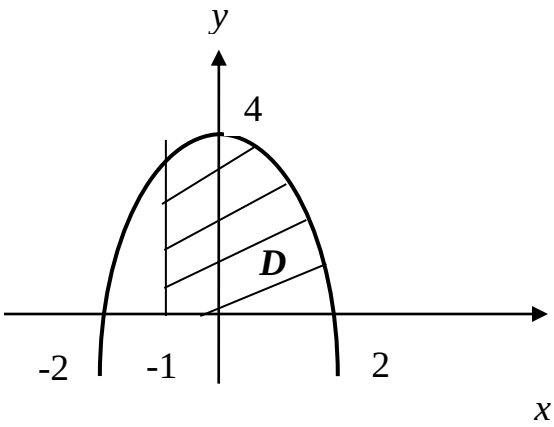
находится по формуле

$$S = \int_a^b \big(g(x) - f(x)\big)dx .$$

Примеры

1. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями: $y = 4 - x^2;\ x = -1;$ $y = 0.$

Построим фигуру. Верхняя граница: $y = 4 - x^2$, нижняя граница: $y = 0$, левая граница $x = -1,$ правая граница $x = 2.$

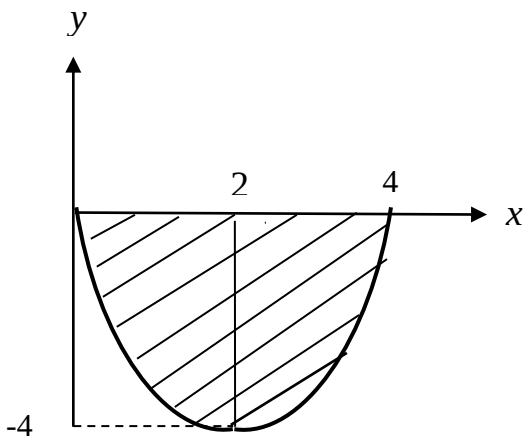


Найдем площадь:

$$S = \int_{-1}^{2} (4 - x^2 - 0)\,dx = 4x\Big|_{-1}^{2} - \frac{x^3}{3}\Big|_{-1}^{2} =$$

$$= 4(2+1) - \frac{1}{3}(8+1) = 12 - 3 = 9\ ed^2.$$

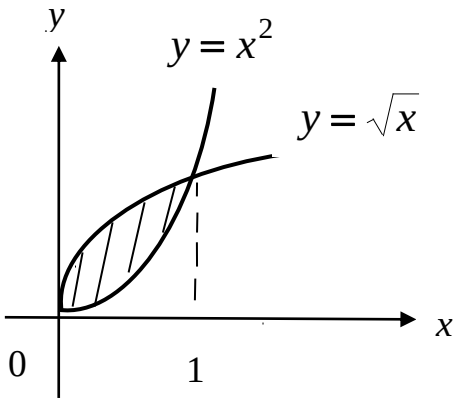
2. Найти площадь фигуры: $y = x^2 - 4x;\quad y = 0.$



$$S = \int_0^4 (0 - (x^2 - 4x))dx = \int_0^4 (-x^2 + 4x)dx =$$

$$= -\frac{x^3}{3}\Big|_0^4 + \frac{4x^2}{2}\Big|_0^4 = -\frac{64}{3} + 32 = \frac{160}{3}\,ed^2.$$

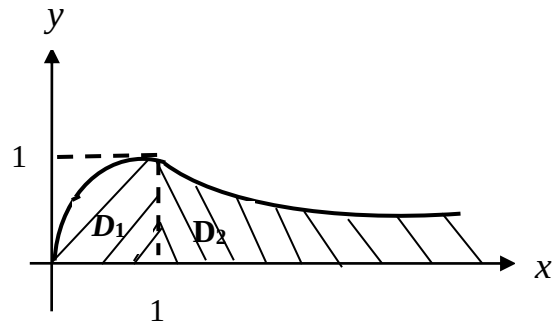
3. Найти площадь фигуры: $y = x^2;\ \ y = \sqrt{x}.$



$$S = \int_0^1 (\sqrt{x} - x^2)dx = \int_0^1 x^{\frac{1}{2}}dx - \int_0^1 x^2 dx =$$

$$= \frac{x^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}\Big|_0^1 - \frac{x^3}{3}\Big|_0^1 = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{1}{3}\,ed^2.$$

4. Найти площадь: $y=\sqrt{x},\ \ y=\frac{1}{x^2},\ y=0.$



Найдем площадь как сумму площадей двух фигур D_1 и D_2.

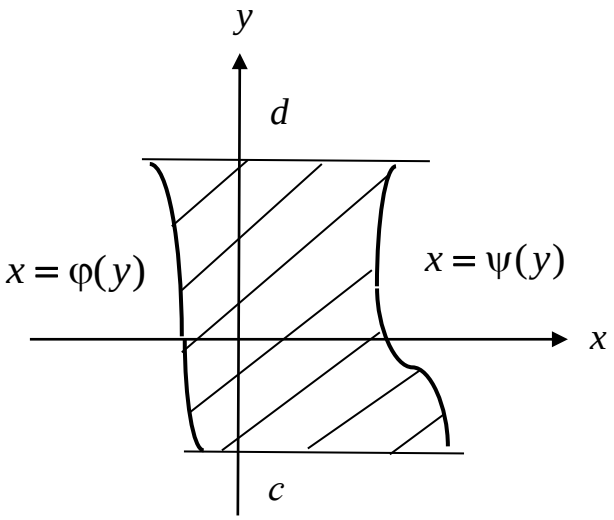
$$S_1=\int_0^1\sqrt{x}dx=\int_0^1 x^{\frac{1}{2}}dx=\left.\frac{x^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}\right|_0^1=\left.\frac{2}{3}x^{\frac{3}{2}}\right|_0^1=\frac{2}{3}\,e\partial^2,$$

$$S_2=\int_1^\infty\frac{dx}{x^2}=\lim_{b\to\infty}\int_1^b x^{-2}dx=\lim_{b\to\infty}\left.\frac{x^{-1}}{-1}\right|_1^b=-\lim_{b\to\infty}\left.\frac{1}{x}\right|_1^b=-\lim_{b\to\infty}\left(\frac{1}{b}-1\right)=1\,e\partial^2,$$

$$S=S_1+S_2=\frac{2}{3}+1=\frac{5}{3}\,e\partial^2.$$

b) Площадь криволинейной трапеции, ограниченной линиями:

$x=\varphi(y),\ \ x=\Psi(y),\ \ y=c,\quad y=d,\quad$ где $\varphi(y)\le\Psi(y),\quad c<d$



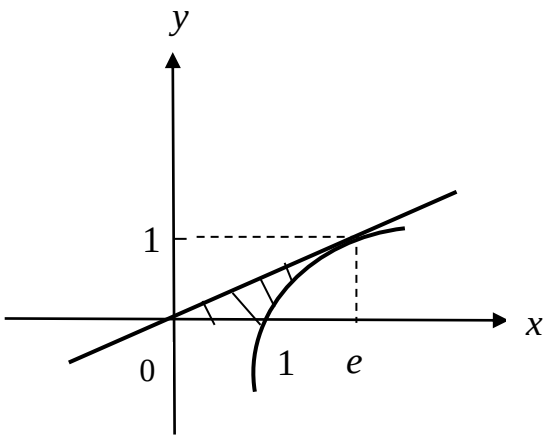
равна:

$$S = \int_c^d (\Psi(y) - \varphi(y))dy.$$

Пример

Найти площадь фигуры: $y = \ln x; \quad y = \frac{1}{e}x; \quad y = 0.$

Построим область:



Запишем её границы: $y = \ln x \Rightarrow x = e^y; \quad y = \frac{1}{e}x \Rightarrow x = ey; \quad y = 0, \quad y = 1.$

$$S = \int_0^1 (e^y - ey)dy = e^y\Big|_0^1 - e\frac{y^2}{2}\Big|_0^1 = e - 1 - \frac{e}{2} = \frac{e}{2} - 1.$$

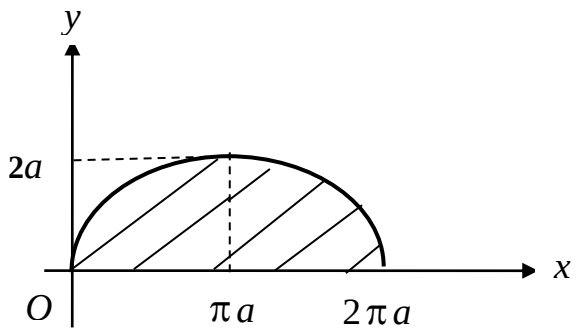
с) Если кривая задана параметрическими уравнениями $x = x(t), \quad y = y(t),$ то площадь криволинейной трапеции ограниченной этой кривой, прямыми $x = a,\ x = b$ и отрезком $[a, b]$ оси Ox, находим по формуле

$$S = \int_{\alpha}^{\beta} y(t)x'(t)dx,$$

где α и β определяются из условий $x(\alpha) = a, \quad x(\beta) = b,$ а $y(t) \geq 0$ при $\alpha \geq t \leq \beta.$

Пример

Найти площадь плоской фигуры, ограниченной аркой циклоиды $x = a(t - \sin t)$, $y = a(1 - \cos t)$ и осью $Ox.$



Здесь $dx = a(1 - \cos t)\, dt,$ а t изменяется от 0 до 2π.

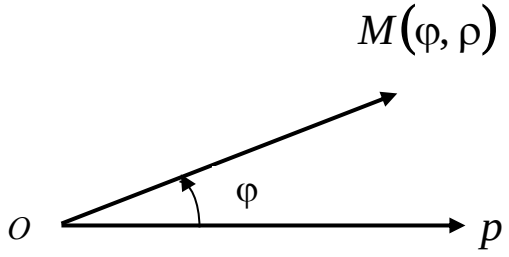
$$S = \int_0^{2\pi} a(1 - \cos t)a(1 - \cos t)dt = a^2 \int_0^{2\pi} (1 - \cos t)^2 dt =$$

$$= a^2 \int_0^{2\pi} (1 - 2\cos t + \cos^2 t)dt = a^2 \left(t\Big|_0^{2\pi} - 2\sin t\Big|_0^{2\pi} + \int_0^{2\pi} \frac{1 + \cos 2t}{2} \right) dt =$$

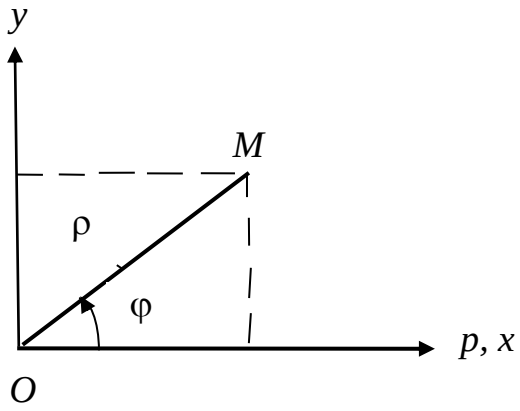
$$= a^2 \left(2\pi + \frac{1}{2} t\Big|_0^{2\pi} + \frac{1}{4} \sin 2t\Big|_0^{2\pi} \right) = a^2 (2\pi + \pi) = 3\pi a^2.$$

d) Площадь фигуры, границы которой заданы в полярных координатах.

Полярная система координат состоит из точки O – полярного полюса и полярной оси Op. Положение точки M определяется двумя координатами: ρ – полярным радиусом – расстоянием от точки M до полюса O и полярным углом φ – углом между радиус-вектором точки M и полярной осью.



Переход от полярных координат к прямоугольным



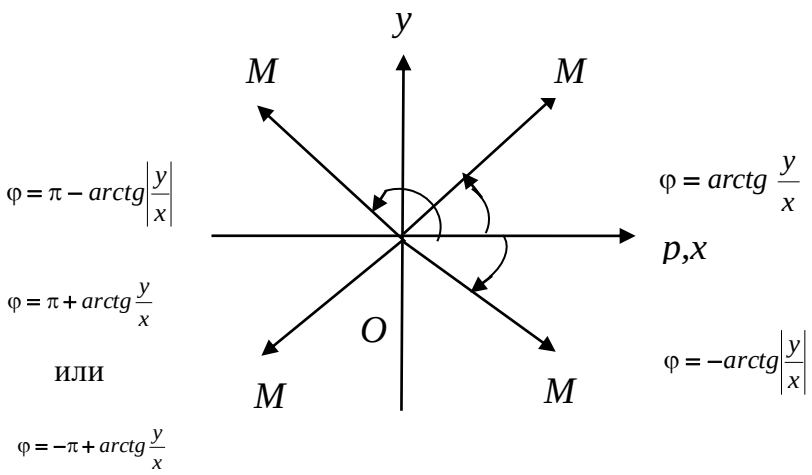
выполняется по формулам

$$\begin{cases} x = \rho\cos\varphi, \\ y = \rho\sin\varphi. \end{cases}$$

Переход от прямоугольных координат к полярным

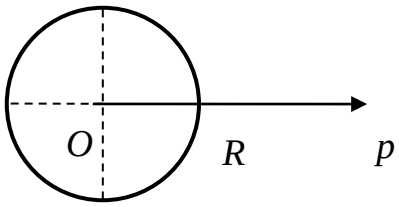
$$\begin{cases} \rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \\ tg\varphi = \dfrac{y}{x}. \end{cases}$$

Угол φ определяется с учетом четверти, в которой лежит точка M (см. рис.).

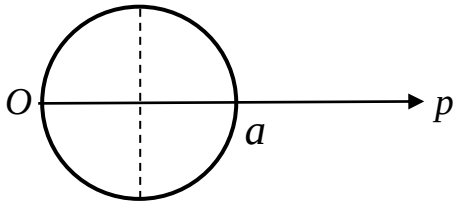


Уравнения некоторых линий в полярных координатах

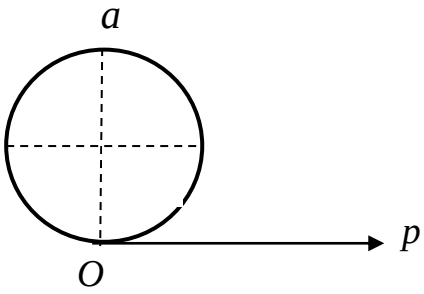
а) $\rho = R$ – уравнение окружности радиуса R с центром в точке O;



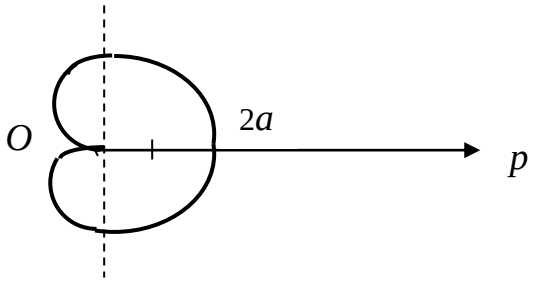
б) $\rho = a\cos\varphi$ – уравнение окружности радиуса $\frac{|a|}{2}$, с центром в точке $\frac{a}{2}$ на полярной оси;



в) $\rho = a\sin\varphi$ – уравнение окружности радиуса $\frac{|a|}{2}$, с центром в точке $\frac{a}{2}$ на прямой, перпендикулярной полярной оси;

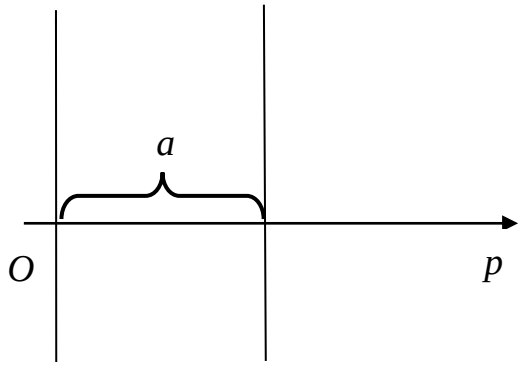


г) $\rho = a(1+\cos\varphi)$ – уравнение кардиоиды.

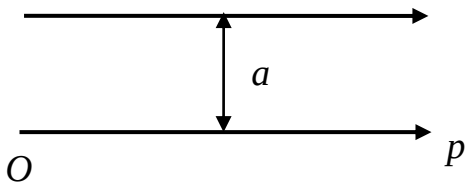


Уравнения $\rho = a(1-\cos\varphi)$; $\rho = a(1+\sin\varphi)$; $\rho = a(1-\sin\varphi)$ – также задают различные кардиоиды.

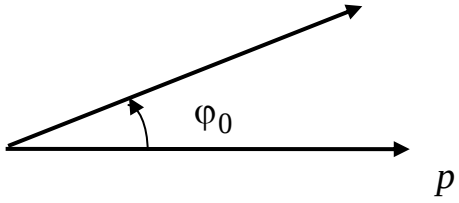
д) $\rho = \dfrac{a}{\cos\varphi}$ – уравнение прямой, перпендикулярной оси Op, отстоящей от точки O на расстояние $|a|$;



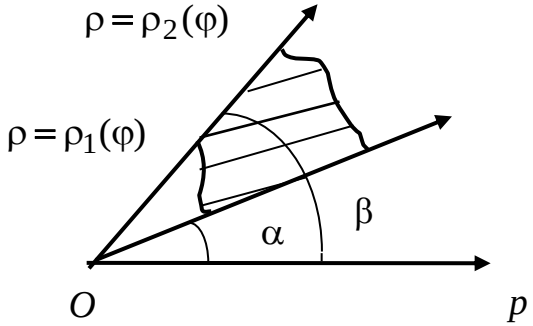
е) $\rho = \dfrac{a}{\sin\varphi}$ – уравнение прямой, параллельной оси Op, отстоящей от неё на расстоянии $|a|$;



ё) $\varphi = \varphi_0$ – уравнение луча, проходящего через точку O под углом φ_0 к оси Op;



Площадь криволинейного сектора, ограниченного кривыми $\rho = \rho_1(\varphi)$ и $\rho = \rho_2(\varphi)$, где $\rho_1(\varphi) \le \rho_2(\varphi)$, и лучами $\varphi = \alpha$ и $\varphi = \beta$, где $\alpha < \beta$

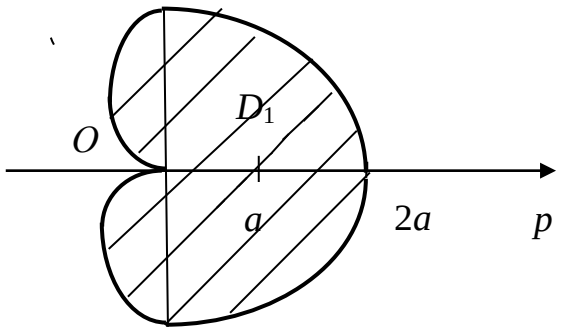


находится по формуле

$$S = \frac{1}{2}\int_{\alpha}^{\beta}\left(\rho_2^2(\varphi) - \rho_1^2(\varphi)\right)d\varphi.$$

Примеры

1. Найти площадь фигуры, заключенной внутри кардиоиды $\rho = a(1+\cos\varphi)$

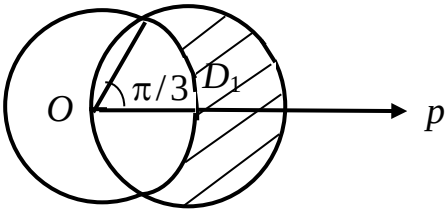


$$S = 2S_{D_1} = 2\frac{1}{2}\int_0^{\pi} a^2(1+\cos\varphi)^2\,d\varphi = a^2\int_0^{\pi}(1+2\cos\varphi+\cos^2\varphi)\,d\varphi =$$

$$= a^2\left(\varphi\Big|_0^{\pi} + 2\sin\varphi\Big|_0^{\pi} + \int_0^{\pi}\frac{1+\cos 2\varphi}{2}d\varphi\right) = a^2\left(\pi + \frac{1}{2}\varphi\Big|_0^{\pi} + \frac{1}{4}\sin 2\varphi\Big|_0^{\pi}\right) =$$

$$= a^2\left(\pi + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{3\pi a^2}{2}\ ед^2.$$

2. Найти площадь фигуры, ограниченной линиями $\rho = 2\cos\varphi;\quad \rho = 1$ (вне окружности $\rho = 1$).



$$S = 2S_{D_1}$$

Найдем точку пересечения окружностей

$$\begin{cases}\rho = 2\cos\varphi \\ \rho = 1\end{cases} \Rightarrow 2\cos\varphi = 1,\ \cos\varphi = \frac{1}{2},\quad \varphi = \frac{\pi}{3}.$$

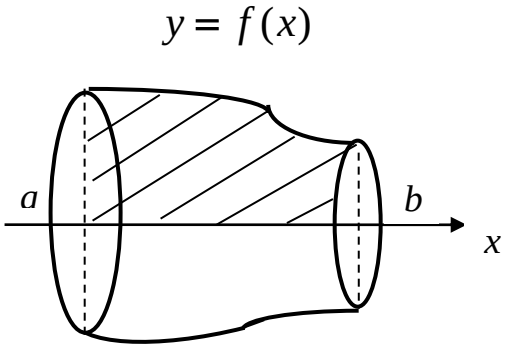
$$S = 2\frac{1}{2}\int_0^{\frac{\pi}{3}} (4\cos^2\varphi - 1)\, d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{3}} (4\frac{1+\cos 2\varphi}{2} - 1)\, d\varphi =$$

$$= \int_0^{\frac{\pi}{3}} (2 + 2\cos 2\varphi - 1)\, d\varphi = \varphi\Big|_0^{\frac{\pi}{3}} + \sin 2\varphi\Big|_0^{\frac{\pi}{3}} =$$

$$= \frac{\pi}{3} + \sin\frac{2\pi}{3} - \sin 0 = \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) \text{ ед}^2.$$

3. 2. Объем тела вращения

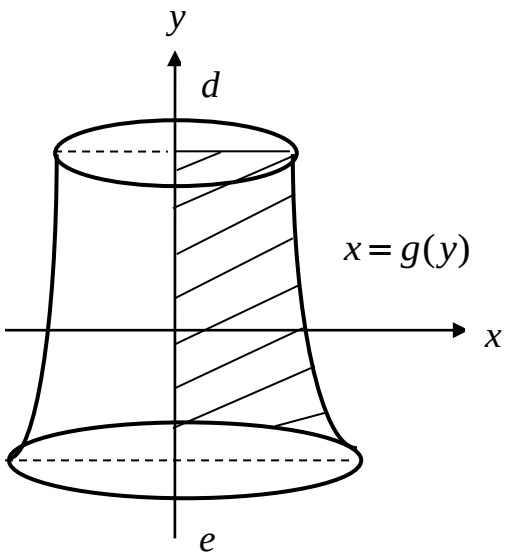
a) Объем тела вращения плоской фигуры с границами $y = f(x), \quad x = a,$ $x = b, \quad y = 0 \quad (a < b)$ вокруг оси Ox



вычисляется по формуле

$$V_{Ox} = \pi\int_a^b f^2(x)\, dx.$$

b) Объем тела вращения плоской фигуры с границами $x = g(y), \quad y = c,$ $y = d, \quad x = 0 \quad (c < d)$ вокруг оси Oy



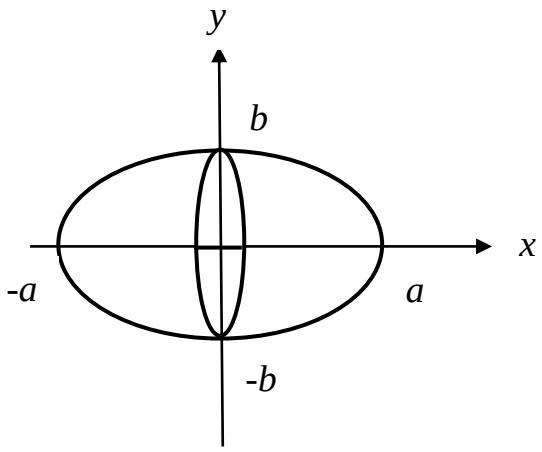
вычисляется по формуле

$$V_{oy} = \pi \int_c^d g^2(y)\, dy.$$

ПРИМЕРЫ

1. Найти объем тела, полученного вращением эллипса $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ вокруг оси Ox.

Построим чертеж.



Выразим y^2 из уравнения эллипса

$$y^2 = b^2\left(1-\frac{x^2}{a^2}\right)$$

$$V_{ox} = \pi\int_{-a}^{a} y^2dx = \pi b^2\int_{-a}^{a}\left(1-\frac{x^2}{a^2}\right)dx = 2\pi b^2\int_{0}^{a}\left(1-\frac{x^2}{a^2}\right)dx =$$

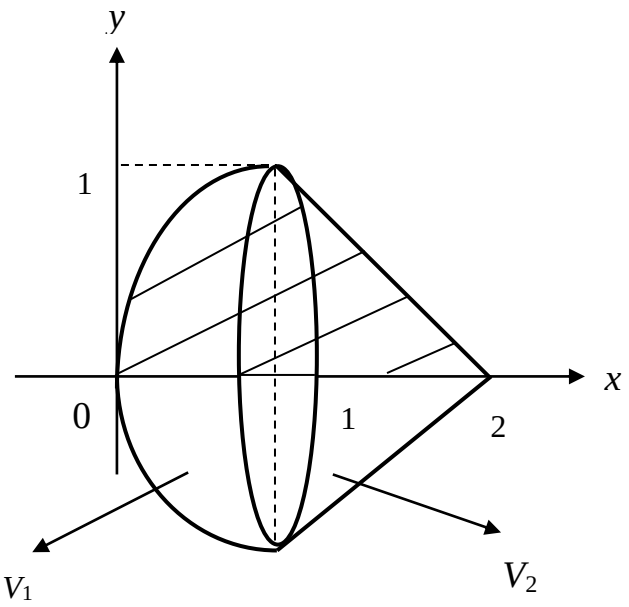
$$= 2\pi b^2\left(x\Big|_0^a - \frac{x^3}{3a^2}\Big|_0^a\right) = 2\pi b^2\left(a-\frac{a}{3}\right) = \frac{4}{3}\pi ab^2 \text{ ед}^3.$$

Заметим, что, если $a = b = R$, то получим объем шара

$$V_{\text{шара}} = \frac{4}{3}\pi R^3 \text{ ед}^3 .$$

2. Найти объем тел вращения вокруг оси Ox и Oy фигуры с границами $y = \sqrt{x}$, $y = 2-x$, $y = 0$.

а)



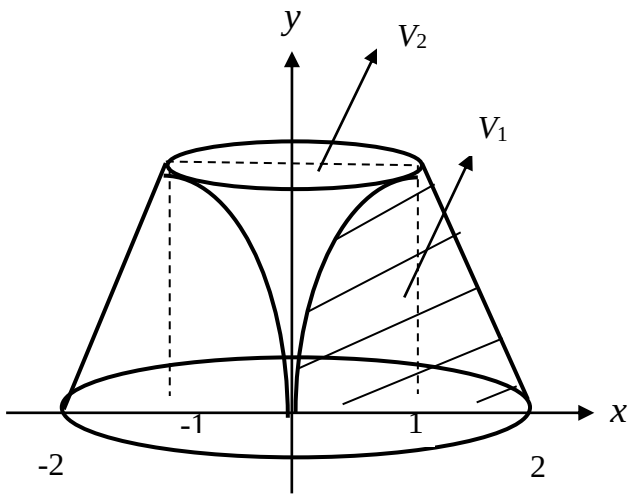
$$V_{0x} = V_1 + V_2$$

$$V_1 = \pi \int_0^1 \left(\sqrt{x}\right)^2 dx = \pi \frac{x^2}{2}\Big|_0^1 = \frac{\pi}{2} \text{ ед}^3$$

$$V_2 = \pi \int_1^2 (2-x)^2 dx = \pi \int_1^2 (x-2)^2 d(x-2) = \pi \frac{(x-2)^3}{3}\Big|_1^2 = \frac{\pi}{3}\left(0-(-1)^3\right) = \frac{\pi}{3} \text{ ед}^3$$

$$V_{0x} = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{3} = \frac{5\pi}{6} \text{ ед}^3.$$

б)



$$V_{0y} = V_1 - V_2$$

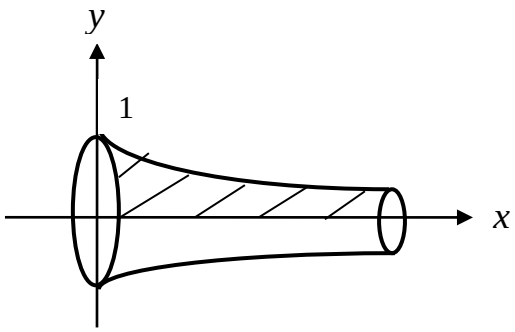
$$V_1 = \pi \int_0^1 (2-y)^2 dy = \pi \int_0^1 (y-2)^2 d(y-2) = \pi \frac{(y-2)^3}{3}\Big|_0^1 =$$

$$\frac{\pi}{3}\left((-1)^3 - (-2)^3\right) = \frac{\pi}{3}(8-1) = \frac{7}{3}\pi \text{ ед}^3$$

$$V_2 = \pi \int_0^1 y^4 dy = \pi \frac{y^5}{5}\Big|_0^1 = \frac{\pi}{5} \text{ ед}^3$$

$$V_{0y} = \frac{7\pi^{(5}}{3} - \frac{\pi^{(3}}{5} = \frac{32\pi}{15} \text{ ед}^3.$$

3. Вычислить объем тела вращения фигуры с границами $y = e^{-x},\ x = 0,\ y = 0$ вокруг оси $0x$



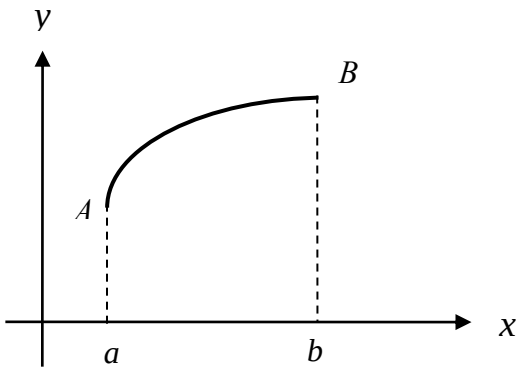
$$V_{ox} = \pi \int_0^{\infty} e^{-2x}\, dx = -\frac{\pi}{2} \lim_{b\to\infty} \int_0^b e^{-2x} d(-2x) = -\frac{\pi}{2} \lim_{b\to\infty} e^{-2x} \Big|_0^b =$$

$$= -\frac{\pi}{2} \lim_{b\to\infty} \left(e^{-2b} - e^0\right) = \frac{\pi}{2} \text{ ед}^2.$$

3.3. Длина дуги плоской кривой

а) Если кривая задана уравнением $y = f(x)$, то длина дуги кривой от точки A до точки B определяется по формуле

$$l = \int_a^b \sqrt{1 + \left(f'(x)\right)^2}\, dx.$$



Пример

Найти длину дуги кривой: $y=\frac{1}{3}(3-x)\cdot\sqrt{x}\,;\quad 0\le x\le 3.$

Найдем производную:

$$y'=\left(\frac{1}{3}(3-x)\cdot\sqrt{x}\right)'=\frac{1}{3}(3-x)'\cdot\sqrt{x}+\frac{1}{3}(3-x)\cdot(\sqrt{x})'=$$

$$=-\frac{1}{3}\sqrt{x}+\frac{1}{3}(3-x)\cdot\frac{1}{2\sqrt{x}}=\frac{-\frac{2}{3}x+1-\frac{1}{3}x}{2\sqrt{x}}=\frac{1-x}{2\sqrt{x}}.$$

$$l=\int_0^3\sqrt{1+\left(\frac{1-x}{2\sqrt{x}}\right)^2}\,dx=\int_0^3\sqrt{1+\frac{1-2x+x^2}{4x}}\,dx=\int_0^3\sqrt{\frac{4x+1-2x+x^2}{4x}}\,dx=$$

$$=\int_0^3\sqrt{\frac{(x+1)^2}{4x}}\,dx=\int_0^3\frac{x+1}{2\sqrt{x}}\,dx=\frac{1}{2}\int_0^3\left(\frac{x}{\sqrt{x}}+\frac{1}{\sqrt{x}}\right)dx=\frac{1}{2}\int_0^3\left(\sqrt{x}+\frac{1}{\sqrt{x}}\right)dx=$$

$$=\frac{1}{2}\int_0^3 x^{\frac{1}{2}}\,dx+\frac{1}{2}\int_0^3 x^{-\frac{1}{2}}\,dx=\frac{1}{2}\cdot\left.\frac{x^{\frac{3}{2}}}{\frac{3}{2}}\right|_0^3+\frac{1}{2}\cdot\left.\frac{x^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{2}}\right|_0^3=\frac{1}{3}\sqrt{27}-0+\sqrt{3}-0=2\sqrt{3}.$$

b) Если кривая AB задана параметрически: $\begin{cases}x=x(t)\\ y=y(t)\end{cases},\ \alpha\le t\le\beta,$ то

$$l=\int_\alpha^\beta\sqrt{(x'_t)^2+(y'_t)^2}\,dx.$$

Пример

2. Найти длину дуги кривой $\begin{cases} x = e^{3t}\cos 4t \\ y = e^{3t}\sin 3t \end{cases}$, $0 \le t \le \ln 2$,

Найдем производные x'_t и y'_t

$$x'_t = \left(e^{3t}\cdot\cos 4t\right)' = \left(e^{3t}\right)'\cos 4t + e^{3t}\cdot\left(\cos 4t\right)' = 3e^{3t}\cos 4t - 4e^{3t}\sin 4t$$

$$y'_t = \left(e^{3t}\cdot\sin 4t\right)' = \left(e^{3t}\right)'\sin 4t + e^{3t}\cdot\left(\sin 4t\right)' = 3e^{3t}\sin 4t + 4e^{3t}\cos 4t$$

$$\left(x'_t\right)^2 + \left(y'_t\right)^2 = \left(3e^{3t}\cdot\cos 4t - 4e^{3t}\cdot\sin 4t\right)^2 + \left(3e^{3t}\cdot\sin 4t + 4e^{3t}\cdot\cos 4t\right)^2 =$$

$$= 9e^{6t}\cos^2 4t - 24e^{6t}\cos 4t\cdot\sin 4t + 16e^{6t}\sin^2 4t + 9e^{6t}\sin^2 4t +$$

$$+ 24e^{6t}\cdot\sin 4t\cos 4t + 16e^{6t}\cos^2 4t = 25e^{6t}\cos^2 4t + 25e^{6t}\sin^2 4t =$$

$$= 25e^{6t}\left(\cos^2 4t + \sin^2 4t\right) = 25e^{6t}.$$

$$l = \int_0^{\ln 2}\sqrt{\left(x'_t\right)^2 + \left(y'_t\right)^2}\,dt = \int_0^{\ln 2}\sqrt{25e^{6t}}\,dt = \int_0^{\ln 2}5e^{3t}dt = \frac{5}{3}e^{3t}\Big|_0^{\ln 2} =$$

$$= \frac{5}{3}e^{3\ln 2} - \frac{5}{3}e^{0} = \frac{5}{3}e^{3\ln 2} - \frac{5}{3}e^{0} = \frac{5}{3}e^{\ln 8} - \frac{5}{3} = \frac{5}{3}\cdot 8 - \frac{5}{3} = \frac{40-5}{3} = \frac{35}{3} = 11\frac{2}{3};$$

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

4. 1. Вычисление определённых интегралов

Вычислить интегралы, выбрав нужный метод.

1. а) $\int_0^4 \sqrt{4x+1}dx$; б) $\int_{-2}^{1} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} x^2, & -2\le x\le 0 \\ 4, & 0<x\le 1 \end{cases}$;

в) $\int_0^{\frac{1}{4}} xe^{4x}dx$; г) $\int_2^3 \frac{dx}{x^2-4x+5}dx$.

2. а) $\int_0^{\frac{\pi}{6}} 3\cos 3x dx$; б) $\int_1^2 f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 0, & 1\le x\le \frac{3}{2} \\ 4x-1, & \frac{3}{2}<x<2 \end{cases}$;

в) $\int_1^e x^2\cdot \ln x dx$; г) $\int_{-1}^0 \frac{xdx}{\sqrt{4-5x}}$.

3. а) $\int_1^2 \frac{dx}{x(x+1)}$; б) $\int_0^{\pi} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} \sin 2x, & 0<x\le \frac{\pi}{2} \\ 1, & \frac{\pi}{2}<x<\pi \end{cases}$;

в) $\int_0^1 \operatorname{arctg} x dx$; г) $\int_2^5 \frac{dx}{x\sqrt{x-1}}$.

4. 3. а) $\int\limits_0^{\frac{1}{5}} \frac{e^x dx}{e^{6x-1}}$; б) $\int\limits_{-1}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}1-x, & -1\le x<0\\ 1+x, & 0\le x<2\end{cases}$;

в) $\int\limits_{-\pi}^{\pi} x\sin\frac{x}{3}dx$; г) $\int\limits_1^9 \frac{dx}{1+\sqrt{x}}$.

5. а) $\int\limits_8^{20}\left(\frac{x}{2}+5\right)^{\frac{1}{2}}dx$; б) $\int\limits_{-2}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}4, & -2\le x<1\\ x, & 1\le x<2\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{\pi}(x-\pi)\cos x dx$; г) $\int\limits_0^{\ln 2} \frac{e^x dx}{\left(e^x+1\right)^2}$.

6. а) $\int\limits_8^{0,5} \frac{dx}{(6x-1)^2}$; б) $\int\limits_{-1}^{1} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}0, & -1<x\le 0\\ 2x^3, & 0<x\le 1\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{\pi} \frac{xdx}{e^{2x}}$; г) $\int\limits_0^{\frac{\pi}{3}} \sin^3 x dx$.

7. а) $\int\limits_{-0,5}^{1} 2\sin\pi x dx$; б) $\int\limits_{-2}^{0} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}5, & -2\le x\le -1\\ -5x, & -1<x\le 0\end{cases}$;

в) $\int\limits_1^e \frac{\ln x dx}{x^2}$; г) $\int\limits_0^2 \frac{xdx}{(x+1)^2}$.

8. а) $\int\limits_{-3}^{0}(x+4)^{-2}dx$; б) $\int\limits_{-1}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}-2x, & -1\le x<0\\ 2x, & 0\le x\le 2\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{\frac{\pi}{2}}(x+4)\sin 2x dx$; г) $\int\limits_1^e \frac{\sqrt{\ln x}}{x}dx$.

9. а) $\int\limits_0^{\pi} \frac{5dx}{\cos^2 \frac{x}{4}}$; б) $\int\limits_{-1}^{1} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}0, & -1\le x<0\\ e^{2x}, & 0\le x\le 1\end{cases}$;

в) $\int\limits_{\frac{1}{e}}^{1} x^2 \ln x dx$; г) $\int\limits_{-\frac{\pi}{3}}^{0} \frac{\sin x dx}{\cos^3 x}$.

10. а) $\int\limits_0^{0,1} \frac{5dx}{e^{1-5x}}$; б) $\int\limits_{-4}^{0} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}0, & -4\le x<-2\\ x^2, & -2\le x\le 0\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{e-1} (x+1)\cdot \ln(x+1)dx$; г) $\int\limits_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 x dx$.

11. а) $\int\limits_0^{1} \frac{dx}{\sqrt{16x+9}}$; б) $\int\limits_0^{5} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}\sqrt{x}, & 0\le x<4\\ -2, & 4\le x\le 5\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{2\frac{\pi}{}} (x+1)\cos 2x dx$; г) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{\text{arctg}x}{x^2+1}dx$.

12. а) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{dx}{(3x+4)^2}$; б) $\int\limits_0^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}x-1, & 0\le x\le 1\\ 10, & 1<x\le 2\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{1} xe^{9x}dx$; г) $\int\limits_{-4}^{-3} \frac{dx}{x^2+8x+15}$.

13. а) $\int\limits_0^{\frac{\pi}{6}} \left(\frac{1}{2}-\sin^2 x\right)dx$; б) $\int\limits_{-2}^{3} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases}6x, & -1\le x\le 0\\ 0, & 1<x\le 3\end{cases}$;

в) $\int\limits_0^{\pi} x\cdot \sin\frac{x}{3}dx$; г) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{dx}{3+\sqrt{x+1}}$.

14. а) $\int\limits_{0,25}^{0,5} \frac{5dx}{\sin^2 \pi x}$; б) $\int\limits_{-2}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 6, & -2 \le x < 0 \\ 6-x, & 0 < x \le 2 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{xdx}{e^x}$; г) $\int\limits_{0}^{5} x \cdot \sqrt{x+4}\, dx$.

15. а) $\int\limits_{-\sqrt{3}}^{0} \frac{\sqrt{3}dx}{x^2+3}$; б) $\int\limits_{-1}^{1} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} x_1 - 1, & -1 < x \le 0 \\ 2x, & 0 < x \le 1 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{0}^{1} x \sin \frac{\pi x}{4} dx$; г) $\int\limits_{1}^{2} \frac{xdx}{(2x-1)^3}$.

16. а) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{dx}{\sqrt{16-9x}}$; б) $\int\limits_{0}^{2\pi} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} \sin x, & 0 \le x \le \pi \\ \frac{1}{\pi}, & \pi < x \le 2\pi \end{cases}$;

в) $\int\limits_{0}^{1} (2x+1)\ln(x+1)dx$; г) $\int\limits_{-3}^{5} x \cdot \sqrt{x+4}\, dx$.

17. а) $\int\limits_{0}^{\frac{2}{3}} \frac{dx}{\sqrt{16-9x^2}}$; б) $\int\limits_{-10}^{0} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 0, & -10 \le x \le -1 \\ (x+1)^2, & -1 < x \le 0 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-3}^{-2} (x+3)e^{x+3}dx$; г) $\int\limits_{-1}^{0} \frac{dx}{\sqrt{x+1}+2}$.

18. а) $\int\limits_{0}^{4\pi} 6\cos \frac{x}{12} dx$; б) $\int\limits_{-2}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 2, & -2 \le x \le -1 \\ 0, & -1 < x \le 1 \\ 4, & 1 < x \le 2 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} x\, dx$; г) $\int\limits_{2}^{7} \frac{xdx}{\sqrt{x+2}}$.

19. а) $\int\limits_{-\frac{\pi}{12}}^{0} 12\sin 6x dx;$ б) $\int\limits_{-10}^{10} f(x)dx,$ если $f(x)=\begin{cases}0, & -10\le x\le 0\\ 5x, & 0<x\le 10\end{cases};$

в) $\int\limits_{0}^{1} x\,e^{1-x}dx$; г) $\int\limits_{0}^{1}\frac{xdx}{(x^2+2x+1)^2}$.

20. а) $\int\limits_{0}^{9}\sqrt[3]{1-x}\,dx;$ б) $\int\limits_{0}^{2} f(x)dx,$ если $f(x)=\begin{cases}(x-1)^2, & 0\le x\le 1\\ 0, & 1<x\le 2\end{cases};$

в) $\int\limits_{0}^{\frac{1}{2}} x\cdot\sin x dx;$ г) $\int\limits_{0}^{\ln 2}\frac{dx}{e^x+1}dx.$

21. а) $\int\limits_{0}^{2\pi} 5\sin\frac{x}{4}dx;$ б) $\int\limits_{0}^{2} f(x)dx,$ если $f(x)=\begin{cases}x+4, & 0\le x\le 1\\ 4, & 1<x\le 2\end{cases};$

в) $\int\limits_{0}^{1-e}\ln(x+e)\,dx$; г) $\int\limits_{-1}^{0}\frac{xdx}{x^2+6x+9}$.

22. а) $\int\limits_{0}^{\ln 2} e^x(e^x+1)dx;$ б) $\int\limits_{1}^{3} f(x)dx,$ если $f(x)=\begin{cases}5, & 1\le x\le 2\\ 5x, & 2<x\le 3\end{cases};$

в) $\int\limits_{1}^{\sqrt{3}}\operatorname{arctg} x dx$; г) $\int\limits_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{3}}\frac{dx}{\sin 2x}$.

23. а) $\int\limits_{0}^{1} 12(1+x)^5 dx;$ б) $\int\limits_{-11}^{1} f(x)dx,$ если $f(x)=\begin{cases}e^{-x}, & -1<x\le 0\\ e, & 0<x\le 1\end{cases};$

в) $\int\limits_{0}^{\frac{\pi}{3}}(3x+4)\sin x dx$; г) $\int\limits_{0}^{\frac{\pi}{2}}\cos^3 x dx$.

24. а) $\int\limits_0^{\pi} \frac{dx}{\cos^2 \frac{x}{4}}$; б) $\int\limits_{-1}^{\ln 3} f(x)dx$, если $f(x) = \begin{cases} x, & -1 < x \le 0 \\ e^x, & 0 < x \le \ln 3 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-\frac{\pi}{4}}^{0} (4x-3)\cos x dx$; г) $\int\limits_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \sin^3 x dx$.

25. а) $\int\limits_{\frac{\pi}{3}}^{\pi} 3\sin 6x dx$; б) $\int\limits_{-2}^{2} f(x)dx$, если $f(x) = \begin{cases} 7, & -2 \le x \le 0 \\ 7x, & 0 < x \le 2 \end{cases}$;

в) $\int\limits_0^1 \frac{x dx}{e^{2x}}$; г) $\int\limits_5^6 \frac{dx}{(x^2 - 8x + 16)^2}$.

26. а) $\int\limits_0^{e-1} \frac{5dx}{x+1}$; б) $\int f(x)dx$, если $f(x) = \begin{cases} \cos 3x, & -\frac{\pi}{2} \le x \le 0 \\ 0, & 0 < x \le \frac{\pi}{10} \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-0,25}^{0} xe^{4x+1} dx$; г) $\int\limits_{-5}^{3} x \cdot \sqrt[3]{x+5}\, dx$.

27. а) $\int\limits_5^6 \sqrt[3]{x-5}\, dx$; б) $\int\limits_1^{\frac{\pi}{2}} f(x)dx$, если $f(x) = \begin{cases} 1, & -1 \le x \le \frac{\pi}{6} \\ \sin 2x, & \frac{\pi}{6} < x \le \frac{\pi}{2} \end{cases}$;

в) $\int\limits_{\frac{1}{9}}^{\frac{e}{9}} \ln 9x dx$; г) $\int\limits_0^{\ln 5} \frac{dx}{e^x + 4}$.

28. а) $\int\limits_{10}^{\frac{1}{2}} e^{1-0,1x}dx$; б) $\int\limits_{-\pi}^{\pi} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 0, & -\pi \le x \le \dfrac{\pi}{2} \\ \cos 2x, & \dfrac{\pi}{2} < x \le \pi \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-1}^{0} \text{arctg}x dx$; г) $\int\limits_{0}^{2} \dfrac{xdx}{\sqrt{4x+1}}$.

29. а) $\int\limits_{0}^{6} \left(\dfrac{x}{6}+1\right)^3 dx$; б) $\int\limits_{-2}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 4, & -2 \le x \le 0 \\ 4x, & 0 < x \le 2 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{-\frac{1}{6}}^{0} x \cdot e^{6x+1} dx$; г) $\int\limits_{0}^{3} x \cdot \sqrt{4-x}\, dx$.

30. а) $\int\limits_{0}^{0,1\pi} 10\cos 5x dx$; б) $\int\limits_{-10}^{2} f(x)dx$, если $f(x)=\begin{cases} 2, & -10 < x \le 0 \\ 3x^2, & 0 < x \le 2 \end{cases}$;

в) $\int\limits_{0}^{1} (4 - x) \cdot e^x dx$; г) $\int\limits_{0}^{3} \dfrac{dx}{1+\sqrt{4-x}}$.

4. 2. Несобственные интегралы

Вычислить несобственные интегралы или установить их расходимость.

1. а) $\int\limits_{1}^{\infty} \dfrac{\text{arctg}\, xdx}{1+x^2}$; б) $\int\limits_{0}^{2} \dfrac{dx}{\sqrt{(2-x)^3}}$;

2. а) $\int\limits_{-\infty}^{1} \dfrac{dx}{x^2+3}$; б) $\int\limits_{0}^{3} \dfrac{xdx}{\sqrt{9-x^2}}$;

3. а) $\int_{-1}^{\infty} \frac{dx}{x^2+2x+2}$; б) $\int_{4}^{5} \frac{dx}{\sqrt[3]{(5-x)^2}}$;

4. а) $\int_{0}^{\infty} x \cdot e^{-x^2} dx$; б) $\int_{2}^{3} \frac{xdx}{x^2-4}$;

5. а) $\int_{1}^{\infty} \frac{\ln x}{x} dx$; б) $\int_{-1}^{0} \frac{x^2 dx}{x^3+1}$;

6. а) $\int_{0}^{\infty} \frac{xdx}{(2+x^2)^2}$; б) $\int_{-2}^{0} \frac{x^2 dx}{\sqrt{x^3+8}}$;

7. а) $\int_{0}^{\infty} \frac{dx}{\sqrt{3x+4}}$; б) $\int_{0}^{1} \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$;

8. а) $\int_{e}^{\infty} \frac{dx}{x \ln x}$; б) $\int_{1}^{2} \frac{dx}{x^2-5x+6}$;

9. а) $\int_{0}^{\infty} \frac{arctg^2\, x}{1+x^2} dx$; б) $\int_{2}^{3} \frac{dx}{\sqrt{(3-x)^5}}$;

10. а) $\int_{-\infty}^{0} \frac{dx}{x^2+1}$; б) $\int_{2}^{3} \frac{dx}{x^2-4x+3}$;

11. а) $\int_{4}^{\infty} \frac{dx}{x^2-4x+8}$; б) $\int_{0}^{2} \frac{xdx}{\sqrt{4-x^2}}$;

12. а) $\int_0^{\infty} x^2 \cdot e^{-x^3} dx$; б) $\int_0^2 \frac{dx}{\sqrt[4]{(2-x)^3}}$;

13. а) $\int_e^{\infty} \frac{\ln^2 x dx}{x}$; б) $\int_3^4 \frac{x dx}{x^2 - 9}$;

14. а) $\int_0^{\infty} \frac{x dx}{(3+x^2)^3}$; б) $\int_{-1}^0 \frac{x^2 dx}{\sqrt{x^3+1}}$;

15. а) $\int_e^{\infty} \frac{dx}{x \ln^2 x}$; б) $\int_0^2 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2}}$;

16. а) $\int_2^{\infty} \frac{dx}{x^2 - 4x + 5}$; б) $\int_{-3}^1 \frac{dx}{(3+x)^3}$;

17. а) $\int_0^{\infty} \frac{x^2 dx}{\sqrt{x^3+1}}$; б) $\int_1^3 \frac{dx}{x^2 - 2x - 3}$;

18. а) $\int_{-\infty}^3 \frac{dx}{x^2 - 6x + 10}$; б) $\int_0^2 \frac{dx}{(x-2)^4}$;

19. а) $\int_{-\infty}^3 \frac{dx}{x^2 - 2x + 5}$; б) $\int_{-1}^2 \frac{dx}{(x+1)^3}$;

20. а) $\int_1^{\infty} x \cdot e^{-2x^2} dx$; б) $\int_1^e \frac{dx}{x\sqrt{\ln x}}$;

21. а) $\int_e^{\infty} \frac{dx}{x\ln^3 x}$; б) $\int_2^4 \frac{dx}{x^2-2x-8}$;

22. а) $\int_2^{\infty} \frac{2xdx}{\sqrt{(x^2+5)^3}}$; б) $\int_4^5 \frac{xdx}{x^2-16}$;

23. а) $\int_e^{\infty} \frac{dx}{x\sqrt{\ln x}}$; б) $\int_0^4 \frac{dx}{\sqrt{16-x^2}}$;

24. а) $\int_1^{\infty} \frac{arctg^3 x}{1+x^2}dx$; б) $\int_2^3 \frac{dx}{\sqrt[3]{(3-x)^4}}$;

25. а) $\int_4^{\infty} \frac{xdx}{\sqrt{x^2+9}}$; б) $\int_4^5 \frac{dx}{x^2-6x+5}$;

26. а) $\int_4^{\infty} \frac{x^2dx}{\sqrt{x^3+4}}$; б) $\int_{-2}^0 \frac{dx}{(x+2)^2}$;

27. а) $\int_1^{\infty} \frac{\ln^3 xdx}{x}$; б) $\int_4^5 \frac{dx}{\sqrt[6]{5-x}}$;

28. а) $\int_2^{\infty} \frac{xdx}{(x^2-1)^2}$; б) $\int_0^5 \frac{dx}{\sqrt{25-x^2}}$;

29. а) $\int_{-\infty}^0 \frac{dx}{x^2+9}$; б) $\int_{-3}^0 \frac{x^2dx}{\sqrt{x^3+27}}$;

30. а) $\int_0^{\infty} \frac{dx}{\sqrt{5x+9}}$; б) $\int_1^{e} \frac{dx}{x\ln x}$.

3. 3. Площадь

Вычислить площади фигур, ограниченных линиями.

1. а) $y = x^2 - 4x, \quad y = -x + 10;$
   б) $y = 3^x, \quad y = 1 - x, \quad y = 0;$
   в) $y = \log_2 x, \quad y = x, \quad y = 0, \quad y = 1;$
   г) $\rho = \sqrt{3}, \quad \rho = 2\cos\varphi.$

2. а) $y = -x^2 + 9, \quad y = -3x - 1;$
   б) $y = 2^{-x}, \quad y = x + 1, \quad y = 0;$
   в) $y = \log_{\frac{1}{2}} x, \quad y = 2x, \quad y = -2$ (правая фигура);
   г) $\rho = 2, \quad \rho = 4\sin\varphi$ (верхняя фигура).

3. а) $y = x^2 + 2x, \quad y = x + 6;$
   б) $y = \frac{1}{x^2}, \quad y = x^2, \quad y = 0;$
   в) $y = \log_3 x, \quad y = -3x, \quad y = 1;$
   г) $\rho = 1 + \cos\varphi, \quad \rho = 1$ (правая фигура).

4. а) $y = -x^2 + 4, \quad y = x - 2;$
   б) $y = \frac{1}{x^3}, \quad y = x^2, \quad y = 0;$
   в) $y = \log_{\frac{1}{3}} x, \quad y = -x, \quad y = 2, \quad y = 0;$
   г) $\rho = 4\cos\varphi, \quad \rho = 4\sin\varphi.$

5. а) $y = x^2 + 4, \quad y = 5x + 12;$

   б) $y = \sqrt[3]{x}, \quad y = \dfrac{1}{x^4}, \quad y = 0;$

   в) $y = \log_4 x, \quad y = \dfrac{1}{2}, \quad y = 0, \quad y = 2;$

   г) $\rho = 4\cos\varphi, \quad \rho = \dfrac{1}{\cos\varphi}$ (правая фигура).

6. а) $y = x^2 + 1, \quad y = -x - 11;$

   б) $y = \dfrac{1}{x^3}, \quad y = x, \quad y = 0, \quad (x \geq 0);$

   в) $y = \log_{\frac{1}{3}} x, \quad y = 3x, \quad y = 0;$

   г) $\rho = 6\sin\varphi, \quad \rho = \dfrac{1}{\sin\varphi}$ (верхняя фигура).

7. а) $y = x^2 - 2x, \quad y = -x + 6;$

   б) $y = \dfrac{1}{1 + x^2}, \quad y = x + 1, \quad y = 0$ (правая фигура);

   в) $y = \log_5 x, \quad y = -5x, \quad y = 0;$

   г) $\rho = 2(1 - \cos\varphi), \quad \rho = 3$ (левая фигура).

8. а) $y = -x^2 + 4, \quad y = -x - 2;$

   б) $y = e^x, \quad y = 1 - x, \quad y = 0;$

   в) $y = \log_{\frac{1}{4}} x, \quad y = -2x, \quad y = 0, \quad y = 2;$

   г) $\rho = 4(1 + \sin\varphi), \quad \rho = 4$ (верхняя фигура).

9. а) $y = x^2 + 4x, \quad y = x + 10;$

   б) $y = e^{-x}, \quad y = x + 1, \quad y = 0;$

   в) $y = \log_6 x, \quad y = 3x, \quad y = 0, \quad y = 2;$

   г) $\rho = 2(1 - \sin\varphi), \quad \rho = 2$ (нижняя фигура).

10. а) $y = -x^2 + 9, \quad y = 3x - 1;$

б) $y = \dfrac{1}{x^5}, \quad y = x, \quad y = 0, \quad (x \le 0);$

в) $y = \log_{\frac{1}{5}} x, \quad y = 5x, \quad y = -1;$

г) $\rho = 1 + \cos\varphi, \quad \rho = \dfrac{3}{4\cos\varphi}$ (правая фигура).

11. а) $y = x^2 - 2x, \quad y = -3x + 12;$

б) $y = 4^{x-1}, \quad y = x, \quad y = 0;$

в) $y = \log_7 x, \quad y = -7x, \quad y = 1;$

г) $\rho = 1, \quad \rho = 4\cos\varphi$ (правая фигура).

12. а) $y = -x^2 + 25, \quad y = -x + 13;$

б) $y = 5^{-x+1}, \quad y = 1 - x, \quad y = 0;$

в) $y = \log_{\frac{1}{7}} x, \quad y = -2x, \quad y = -1, \quad y = 1;$

г) $\rho = 2, \quad \rho = 2\sqrt{2}\sin\varphi$ (верхняя фигура).

13. а) $y = x^2 - 8x, \quad y = x;$

б) $y = \dfrac{16}{x^2}, \quad y = x^2, \quad y = 0, \quad (x \ge 0);$

в) $y = \log_6 x, \quad y = 3x, \quad y = -1 \quad y = 2;$

г) $\rho = 1 + \cos\varphi, \quad \rho = \dfrac{3}{2}$ (правая фигура).

14. а) $y = -x^2 + 4, \quad y = -5;$

б) $y = \dfrac{32}{x^3}, \quad y = x^2, \quad y = 0;$

в) $y = \log_{\frac{1}{6}} x, \quad y = 6x, \quad y = -2;$

г) $\rho = \sqrt{3}\cos\varphi, \quad \rho = \sin\varphi.$

15. а) $y = x^2 + 2x, \quad y = 2x + 16;$

б) $y = \sqrt{x-2}, \quad y = \dfrac{81}{x^4}, \quad y = 0;$

в) $y = \log_8 x, \quad y = -8x, \quad y = 2;$

г) $\rho = \cos\varphi, \quad \rho = \dfrac{3}{\cos\varphi}$ (правая фигура).

16. а) $y = -x^2 + 9, \quad y = -7;$

б) $y = \dfrac{1}{(x-3)^3}, \quad y = x - 3, \quad y = 0, \quad (x \geq 3);$

в) $y = \log_{\frac{1}{9}} x, \quad y = -2x, \quad y = 3, \quad y = 0;$

г) $\rho = 4\sin\varphi, \quad \rho = \dfrac{3}{\sin\varphi}$ (верхняя фигура).

17. а) $y = x^2 - 6x, \quad y = -6x + 4;$

б) $y = \dfrac{1}{1+x^2}, \quad y = -x + 1, \quad y = 0$ (левая фигура);

в) $y = \lg x, \quad y = \dfrac{1}{3}x, \quad y = -1, \quad y = 0;$

г) $\rho = 1 - \cos\varphi, \quad \rho = 1$ (левая фигура).

18. а) $y = -x^2 + 1, \quad y = -3;$

б) $y = 2e^x, \quad y = 2 - x, \quad y = 0;$

в) $y = \log_{0,1} x, \quad y = 10x, \quad y = -4;$

г) $\rho = 4(1 + \sin\varphi), \quad \rho = 4$ (верхняя фигура).

19. а) $y = x^2 + 6x, \quad y = 6x - 25;$

б) $y = 3e^{-x}, \quad y = x + 3, \quad y = 0;$

в) $y = \lg x, \quad y = -2x, \quad y = 3;$

г) $\rho = 2(1 - \sin\varphi), \quad \rho = 1$ (нижняя фигура).

20. а) $y=-x^2+4, \quad y=-2x+1;$

б) $y=\dfrac{1}{(x-5)^5}, \quad y=x-1, \quad (x\le 1);$

в) $y=\log_{0,1} x, \quad y=-x, \quad y=1, \quad y=2;$

г) $\rho=1-\cos\varphi, \quad \rho=-\dfrac{3}{4\sin\varphi}.$

21. а) $y=x^2-4x, \quad y=-2x+5;$

б) $y=3^{x-2}, \quad y=3-x, \quad y=0;$

в) $y=\log_2 x, \quad y=3x, \quad y=1, \; y=3;$

г) $\rho=\sqrt{2}, \quad \rho=2\cos\varphi$ (правая фигура).

22. а) $y=-x^2+16, \quad y=-9;$

б) $y=3\cdot 2^{-x}, \quad y=3-x, \quad y=0;$

в) $y=\log_{\frac{1}{3}} x, \quad y=3x, \quad y=-3;$

г) $\rho=2\sqrt{2}, \quad \rho=4\sin\varphi$ (верхняя фигура).

23. а) $y=x^2+4x, \quad y=2x+3;$

б) $y=\dfrac{1}{(x+2)^2}, \quad y=(x+2)^2, \quad y=0, \quad (x\ge -2);$

в) $y=\log_3 x, \quad y=-3x, \quad y=4;$

г) $\rho=3(1+\cos\varphi), \quad \rho=3$ (правая фигура).

24. а) $y=-x^2+4, \quad y=2x+1;$

б) $y=\dfrac{1}{(x+1)^3}, \quad y=(x+1)^2, \quad y=0;$

в) $y=\log_{\frac{1}{4}} x, \quad y=-4x, \quad y=-2, \quad y=2;$

г) $\rho=\cos\varphi, \quad \rho=\sqrt{3}\sin\varphi.$

25. а) $y = x^2 - 4x, \quad y = -x + 4;$

б) $y = 2\sqrt{x}, \quad y = \frac{2}{x^4}, \quad y = 0;$

в) $y = \log_4 x, \quad y = 2x, \quad y = -2, \quad y = 1;$

г) $\rho = 2\cos\varphi, \quad \rho = \frac{1}{\cos\varphi}$ (правая фигура).

26. а) $y = -x^2 + 1, \quad y = -3x - 3;$

б) $y = \frac{5}{x^3}, \quad y = 5x, \quad y = 0, \quad (x \le 0);$

в) $y = \log_{\frac{1}{5}} x, \quad y = 5x, \quad y = -4;$

г) $\rho = 3(1 - \cos\varphi), \quad \rho = 3$ (левая фигура).

27. а) $y = x^2 - 2x, \quad y = -5x + 4;$

б) $y = \frac{3}{1 + x^2}, \quad y = 3 + x, \quad y = 0$ (правая фигура);

в) $y = \log_6 x, \quad y = -6x, \quad y = 1;$

г) $\rho = 4\sin\varphi, \quad \rho = \frac{2}{\sin\varphi}$ (верхняя фигура).

28. а) $y = -x^2 + 9, \quad y = 3x + 5;$

б) $y = e^{x-3}, \quad y = 4 - x, \quad y = 0;$

в) $y = \log_{\frac{1}{5}} x, \quad y = -2x, \quad y = -2, \quad y = 2;$

г) $\rho = 3(1 + \cos\varphi), \quad \rho = 3$ (верхняя фигура).

29. а) $y = x^2 - 4x, \quad y = -2x + 8;$

б) $y = e^{-x+2}, \quad y = \frac{1}{2}x, \quad y = 0;$

в) $y = \log_5 x, \quad y = 4x, \quad y = -2, \quad y = 1;$

г) $\rho = 3(1 - \sin\varphi), \quad \rho = 3$ (нижняя фигура).

30. а) $y = -x^2 + 9, \quad y = 2x + 1;$

б) $y = \frac{4}{x^5}, \quad y = 4x, \quad y = 0, \quad (x \le 0);$

в) $y = \log_{\frac{1}{6}} x, \quad y = 6x, \quad y = -2;$

г) $\rho = 1 + \sin\varphi, \quad \rho = \frac{3}{4\sin\varphi}$ (верхняя фигура).

4. 4. Объем тела вращения

Найти объемы тел вращения фигур, ограниченных заданными линиями,

а) вокруг оси Ox

б) вокруг оси Oy

1. $\frac{x^2}{9} - \frac{y^2}{4} = 1; \quad y = \pm 2$

2. $\frac{x^2}{16} - \frac{y^2}{9} = 1; \quad x = 8$

3. $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{16} = 1; \quad y = 2$

4. $\frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} = 1; \quad x = 1$

5. $y^2 = 2x; \quad x = 2$

6. $y^2 = -3x; \quad x = -3$

7. $y = x^2 + 1; \quad y = 2$

8. $y = x^2 - 8; \quad y = -4$

9. $y = \sin x, \; y = 2 - \frac{2}{\pi}x, \; y = 0$

10. $y = \cos x, \; y = 1, \; x = -\frac{\pi}{2}$

11. $\frac{x^2}{25} - \frac{y^2}{9} = 1; \quad y = \pm 3$

12. $\frac{x^2}{9} - \frac{y^2}{4} = 1; \quad x = 6$

13 $y^2 = 5x, \; x = 5$

14 $y^2 = -4x, \; x = -4$

15. $\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{4} = 1; \quad y = 1$

16. $\frac{x^2}{36} + \frac{y^2}{9} = 1; \quad x = 3$

17. $y = x^2 + 4; \quad y = 8$

18. $y = x^2 - 2; \quad y = -1$

19. $y = \sin x,\ y = 0,\ x = \frac{\pi}{2}$

20. $y = \cos x,\ y = 1,\ x = \frac{\pi}{2}$

21. $\frac{x^2}{4} - y^2 = 1;\quad y = \pm 1$

22. $x^2 - \frac{y^2}{9} = 1;\quad x = 2$

23. $\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{16} = 1;\quad y = 2$

24. $\frac{x^2}{16} + y^2 = 1;\quad x = 2$

25. $y^2 = 7x;\quad x = 7$

26. $y^2 = 6x;\quad x = -6$

27. $y = x^2 + 9;\quad y = 18$

28. $y = x^2 - 18;\quad y = -9$

29. $y = \sin x,\ y = 1,\ y = 0,\ x = 2$

30. $y = \cos x,\ y = 1,\ y = 0, x = 2$

4. 5. Длина дуги плоской кривой

1. *а)* $y = \sqrt{4 - x^2}$
$-1 \le x \le 1;$

б) $\begin{cases} x = t - \sin t \\ y = 1 - \cos t \end{cases}$
$0 \le t \le 2\pi.$

2. *а)* $y = \ln \sin x$
$\frac{\pi}{6} \le x \le \frac{\pi}{2};$

б) $\begin{cases} x = 2\cos^3 t \\ y = 2\sin^3 t \end{cases}$
$0 \le t \le \pi/2.$

3. *а)* $y = \frac{2}{3}(x+1)^{\frac{3}{2}}$
$0 \le x \le 3;$

б) $\begin{cases} x = 4\sin t + 3\cos t \\ y = 3\sin t - 4\cos t \end{cases}$
$0 \le t \le \pi.$

4. *а)* $y = e^{\frac{x}{2}} + e^{-\frac{x}{2}}$
$0 \le x \le 4;$

б) $\begin{cases} x = \cos t + t\sin t \\ y = \sin t - t\cos t \end{cases}$
$0 \le t \le 2\pi.$

5. *а)* $y = \ln\cos x$

$0 \le x \le \frac{\pi}{3}$

б) $\begin{cases} x = \left(t^2 - 2\right)\sin t + 2t\cos t \\ y = \left(2 - t^2\right)\cos t + 2t\sin t \end{cases}$

$0 \le t \le \pi.$

6. *а)* $y = 4 - 3\ln(x^2 - 9)$

$4 \le x \le 6;$

б) $\begin{cases} x = 2\cos t - \cos 2t \\ y = 2\sin t - \sin 2t \end{cases}$

$0 \le t \le \frac{\pi}{2}.$

7. *а)* $y = \sqrt{9 - x^2}$

$-\frac{3}{2} \le x \le \frac{3}{2};$

б) $\begin{cases} x = 2t^3 + 1 \\ y = \frac{t^3}{3} - 2 \end{cases}$

$0 \le t \le 3.$

8. *а)* $y = \ln(2\sin x)$

$\frac{\pi}{4} \le x \le \frac{\pi}{2};$

б) $\begin{cases} x = \frac{t^3}{3} + 1 \\ y = \frac{2}{9}t^{\frac{9}{2}} - 3 \end{cases}$

$0 \le t \le 2.$

9. *а)* $y = \frac{4}{3}(x+2)^{\frac{3}{2}}$

$-1 \le x \le 2;$

б) $\begin{cases} x = 3(t - \sin t) \\ y = 3(1 - \cos t) \end{cases}$

$0 \le t \le \pi.$

10. *а)* $y = \frac{3}{2}\left(e^{\frac{x}{3}} + e^{-\frac{x}{3}}\right)$

$0 \le x \le 3$

б) $\begin{cases} x = 4\cos^3 t \\ y = 4\sin^3 t \end{cases}$

$\frac{\pi}{2} \le t \le \pi.$

11. *а)* $y = \ln(5\cos x)$

$\frac{\pi}{6} \le x \le \frac{\pi}{3};$

б) $\begin{cases} x = 8\sin t + 6\cos t \\ y = 6\sin t - 8\cos t \end{cases}$

$\frac{\pi}{2} \le t \le \pi.$

12. *а)* $y = 3 + \ln(x^2 - 1)$

$2 \le x \le 3;$

б) $\begin{cases} x = 2(\cos t + t\sin t) \\ y = 2(\sin t - t\cos t) \end{cases}$

$\pi \le t \le 2\pi.$

13. *а)* $y = \sqrt{16 - x^2}$

$-2 \le x \le 2;$

б) $\begin{cases} x = (t^2 - 2)\sin t + 2t\cos t \\ y = (2 - t^2)\cos t + 2t\sin t \end{cases}$

$\pi \le t \le 2\pi.$

14. *а)* $y = \ln(3\sin x)$

$\frac{\pi}{6} \le x \le \frac{\pi}{3};$

б) $\begin{cases} x = 3\cos t - \cos 3t \\ y = 3\sin t - \sin 3t \end{cases}$

$\frac{\pi}{2} \le t \le \pi.$

15. *а)* $y = 2(x+3)^{\frac{3}{2}}$

$-2 \le x \le 1;$

б) $\begin{cases} x = \frac{t^3}{3} - 1 \\ y = 2t^2 + 3 \end{cases}$

$0 \le t \le 3.$

16. *а)* $y = 2\left(e^{\frac{x}{4}} + e^{-\frac{x}{4}}\right)$

$0 \le x \le 4;$

б) $\begin{cases} x = 3(\cos t + t\sin t) \\ y = 3(\sin t - t\cos t) \end{cases}$

$\frac{\pi}{2} \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

17. *а)* $y = \ln(4\cos x)$

$0 \le x \le \frac{\pi}{6};$

б) $\begin{cases} x = 5\cos^3 t \\ y = 5\sin^3 t \end{cases}$

$\pi \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

18. *а)* $y = 5 - 3\ln(x^2 - 9)$

$4 \le x \le 5;$

б) $\begin{cases} x = 8\sin t - 6\cos t \\ y = 6\sin t + 8\cos t \end{cases}$

$\pi \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

19. *а)* $y = \sqrt{25 - x^2}$

$-\frac{5}{2} \le x \le \frac{5}{2};$

б) $\begin{cases} x = 4(t - \sin t) \\ y = 4(1 - \cos t) \end{cases}$

$\frac{3\pi}{2} \le t \le 2\pi.$

20. *а)* $y = \ln(4\sin x)$

$\frac{\pi}{6} \le x \le \frac{\pi}{4};$

б) $\begin{cases} x = (t^2 - 2)\sin t + 2t\cos t \\ y = (2 - t^2)\cos t + 2t\sin t \end{cases}$

$\frac{\pi}{2} \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

21. *а)* $y = \frac{2}{3}(x + 4)^{\frac{3}{2}}$

$-3 \le x \le 0;$

б) $\begin{cases} x = 4\cos t - \cos 4t \\ y = 4\sin t - \sin 4t \end{cases}$

$\pi \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

22. *а)* $y = \frac{1}{4}\left(e^{2x} + e^{-2x}\right)$

$0 \le x \le 1;$

б) $\begin{cases} x = \frac{3}{2}t^2 - 2 \\ y = \frac{t^3}{3} + 5 \end{cases}$

$0 \le t \le 4.$

23. *а)* $y = \ln(3\cos x)$

$0 \le x \le \frac{\pi}{4};$

б) $\begin{cases} x = 6(t - \sin t) \\ y = 6(1 - \cos t) \end{cases}$

$\pi \le t \le \frac{3\pi}{2}.$

24. *а)* $y = 3 + 2\ln(x^2 - 4)$

$3 \le x \le 5;$

б) $\begin{cases} x = 3\cos^3 t \\ y = 3\sin^3 t \end{cases}$

$\frac{3\pi}{2} \le t \le 2\pi.$

25. *а)* $y = \sqrt{36 - x^2}$

$-3 \le x \le 3;$

б) $\begin{cases} x = 4\sin t - 3\cos t \\ y = 3\sin t + 4\cos t \end{cases}$

$\frac{3\pi}{2} \le t \le 2\pi.$

26. *а)* $y = \ln(5\sin x)$

$\frac{\pi}{4} \le x \le \frac{\pi}{2};$

б) $\begin{cases} x = 4(\cos t + t\sin t) \\ y = 4(\sin t - t\cos t) \end{cases}$

$\frac{3\pi}{2} \le t \le 2\pi.$

27. *а)* $y = \frac{4}{3}(x-1)^{\frac{3}{2}}$

$1 \le x \le 2;$

б) $\begin{cases} x = (t^2 - 2)\sin t + 2t\cos t \\ y = (2 - t^2)\cos t + 2t\sin t \end{cases}$

$\frac{3\pi}{2} \le t \le 2\pi.$

28. *а)* $y = \frac{1}{2}\left(e^{x} + e^{-x}\right)$

$0 \le x \le 2;$

б) $\begin{cases} x = 5\cos t - \cos 5t \\ y = 5\sin t - \sin 5t \end{cases}$

$0 \le t \le \frac{\pi}{2}.$

29. *а)* $y = \ln(2\cos x)$

$\frac{\pi}{6} \le x \le \frac{\pi}{4};$

б) $\begin{cases} x = \frac{t^3}{3} + 2 \\ y = \frac{3}{2}t^2 + 7 \end{cases}$

$0 \le t \le 4.$

30. *а)* $y = 1 - \ln(x^2 - 1)$

$3 \le x \le 4;$

б) $\begin{cases} x = \frac{2}{9}t^{\frac{9}{2}} + 3 \\ y = \frac{t^3}{3} - 2 \end{cases}$

$0 \le t \le 2.$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Данко П. Е., Попов А. Г., Кожевникова Т. Я. Высшая математика в упражнниях и задачах. Часть 1. – М.: ООО “Изд-во Оникс”, 2008. – 368 с.

Письменный Д. Т. Конспект лекций по математике. Часть 1. – М.: Изд.-во Айрис-пресс, 2012. – 281 с.



Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Т. И. Королюк

ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей:
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ…….....3
ВВЕДЕНИЕ…….4
1. КОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА И ПОНЯТИЕ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ…….....5
2. ВЫДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ И МНИМОЙ ЧАСТЕЙ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ…….6
3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ….....7
4. ПРЕДЕЛ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ……..…12
5. НЕПРЕРЫВНОСТЬ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ…….....14
6. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ……...15
6.1. Показательная функция e^z ……..…….……...15
6.2. Тригонометрические функции $\sin z$, $\cos z$ ……..…….…..16
6.3. Логарифмическая функция $Ln\ z$ ……..……..16
6.4. Общая степенная функция z^γ ……..……...17
7. ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ.....19
7.1. Определение производной…….……..…19
7.2. Необходимые и достаточные условия дифференцируемости функции комплексной переменной (условия Коши-Римана)……..…….....19
7.3. Правила дифференцирования……..…….....22
7.4. Аналитические функции……..…….....22
7.5. Геометрический смысл производной функции комплексной переменной.....23
8. ИНТЕГРИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ...…….....25
8.1. Интеграл от функции комплексной переменной……..25
8.2. Вычисление интеграла от функции комплексной переменной……..27
8.3. Основная теорема Коши…….……..……...29
8.4. Теорема Коши для многосвязной области…….....31
8.5. Вычисление интеграла от аналитической функции...…….....32
8.6. Особые точки – полюсы…….....34
8.7. Определение вычета…….....34
8.8. Формулы для вычисления вычетов……..…….....35
8.9. Теорема Коши о вычетах……..…….....36
9. ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕСОБСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ……..…….....40
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….…43

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие предназначено для студентов всех специальностей. В пособии приведены теоретические сведения по теме « Функции комплексной переменной» в объеме курса лекций по этому разделу дисциплины «Математика». Теоретический материал сопровождается решением задач с подробными объяснениями, а также даны варианты заданий, которые могут быть использованы как для самостоятельной работы студентов в аудитории в присутствии преподавателя, так и в качестве домашних и аудиторных контрольных работ.

Целью работы является активация самостоятельной работы студентов и содействие более глубокому усвоению одного из разделов курса математики.

1. КОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА И ПОНЯТИЕ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Число вида $z = x + iy$, где x и y – действительные числа, а i – так называемая мнимая единица $(i^2 = -1)$, называется комплексным числом. Действительные числа x и y называются соответственно действительной и мнимой частями комплексного числа z и обозначаются: $x = \mathrm{Re}\, z,\ y = Jmz,$ где Re – начальные буквы латинского слова *realis* – действительный, Jm – начальные буквы слова *imaginarius* – мнимый.

Два комплексных числа считаются равными, если равны одновременно их действительные и мнимые части.

Геометрически комплексное число $z = x + iy$ изображается либо точкой плоскости xOy с координатами (x, y), либо вектором, направленным из начала координат в эту точку. Если комплексное число z – действительное, т. е. $z = x$, то соответствующая ему точка лежит на оси Ox, поэтому ось абсцисс называется действительной осью. Чисто мнимые числа $z = iy$ изображаются точками оси Oy, поэтому ось ординат называется мнимой осью.

Если $z = x + iy$, то сопряженное с ним есть $\bar{z} = x - iy$.

Комплексная величина $z = x + iy$, где x и y – действительные переменные, называется комплексной переменной. Плоскость, на которой изображаются комплексные числа или комплексная переменная z, называется комплексной плоскостью C.

Введем понятие функции комплексной переменной.

Пусть дано некоторое множество D комплексных чисел. Если каждому значению переменной $z \in D$ ставится в соответствие вполне определенное значение переменной w, то переменная w называется функцией комплексной переменной z, в записи: $w = f(z)$. Если каждому значению $z \in D$ соответствует несколько значений w, то функция называется многозначной.

Множество D, состоящее из всех значений независимой переменной z, называется областью определения функции $w = f(z)$, а о функции говорят, что она определена или задана на множестве D. Геометрически область определения функции изображается некоторым множеством точек на комплексной плоскости z.

Примеры

1. Функция $w = z^2$ определена на всей плоскости z, функция однозначная.
2. Функция $w = \sqrt{z}$ определена на всей плоскости и двузначна.
3. Функция $w = \dfrac{1}{z-3}$ определена при всех значениях z, кроме $z = 3$, поэтому область ее определения есть вся комплексная плоскость z, из которой удалена точка $z = 3$. Функция однозначная.

2. ВЫДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ И МНИМОЙ ЧАСТЕЙ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Пусть дана функция $w = f(z)$. Обозначим $z = x + iy$, $w = u + iv$. Тогда $w = f(z)$ перепишется в виде $u + iv = f(x + iy)$.

Отсюда видно, что действительная и мнимая части u, v переменной w являются функциями действительной и мнимой частей x, y переменной z:
$u = u(x, y), \quad v = v(x, y)$.

Итак, задание функции комплексной переменной $w = f(z)$ равносильно заданию двух действительных функций от двух действительных переменных.

Примеры

1. Для функции $w = z^2$, при $z = x + iy$, $w = u + iv$ имеем $w = u + iv = (x + iy)^2$ или $u + iv = x^2 - y^2 + i2xy$, откуда $u = x^2 - y^2, \quad v = 2xy$.

2. $w = \dfrac{1}{z}$, $z \neq 0$.

$$z = x + iy, \; w = u + iv, \text{ тогда } u + iv = \frac{1}{x + iy}$$

или $u + iv = \dfrac{x - iy}{x^2 + y^2}$, откуда $u = \dfrac{x}{x^2 + y^2}$, $v = -\dfrac{y}{x^2 + y^2}$.

3. $w = Jmz$

$$u + iv = y, \text{ откуда } \quad u = y, \quad v = 0.$$

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Геометрическую интерпретацию функции одной действительной переменной $y = f(x)$ можно получить с помощью ее графика в плоскости Oxy, строя для каждой пары соответствующих друг другу значений x и y точку с координатами (x, y).

В случае же комплексных переменных, поступая аналогично, нужно было бы строить точку для каждой пары соответствующих друг другу комплексных чисел $z = x + iy$ и $w = u + iv$. Такая точка (z, w) должна определяться четырьмя действительными координатами (x, y, u, v). В трехмерном пространстве построить такую точку нельзя. Поэтому поступим так.

Возьмем две плоскости: на одной – плоскости аргумента (плоскость Oxy, плоскость (z)) – будем изображать комплексные числа $z = x + iy$, $z \in D$, D – область определения функции $w = f(z)$, а на другой – плоскости функции (пл. 0, uv, плоскость (w)) – соответствующие им комплексные числа w (рис. 1). Получим, что задание функции $w = f(z)$ позволяет каждой точке $z \in D$ плоскости аргумента поставить в соответствие точку $w \in D_1$ плоскости функции,

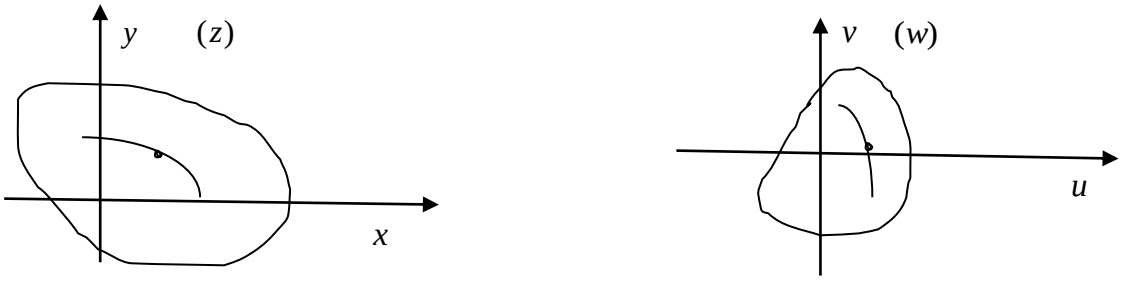


Рис. 1. Геометрическое изображение функции комплексной переменной

т. е. отображает множество D на множество D_1.

Иногда удобно плоскости Oxy и O_1uv совместить (ось O_1u с осью Ox, ось O_1v с осью Oy). Тогда значения незави симой переменной z и функции w изображаются точками одной и той же плоскости.

Пусть $w = f(z)$ – функция комплексной переменной. Если точка $z = x + iy$ описывает какую-либо кривую L в плоскости Oxy, все точки кривой принадлежат множеству D, то соответствующая точка $w = u + iv$ описывает в плоскости O_1uv, как правило, тоже некоторую линию L_1 (рис. 1). Можно сказать, что при отображении $w = f(z)$ кривая L переходит в кривую L_1.

Но не всякая функция комплексной переменной отображает кривую в кривую, а область в область. Так функция $w = \operatorname{Re} z$ отображает всю плоскость z в действительную ось плоскости w.

Для «хороших» функций (например, аналитических, которые мы рассмотрим позже), как правило, образ кривой – кривая, образ области – область.

Поставим вопрос: как, зная кривую L, найти кривую L_1. Если кривая L задана уравнением в комплексной форме $z = g(t)$, то, заменив в равенстве $w = f(z)$ переменную z функцией $g(t)$, мы получим уравнение $w = f(g(t))$ кривой L_1 в комплексной форме. Однако чаще кривая L задается уравнением в прямоугольных координатах $\varphi(x, y) = 0$.

Для кривой L_1 обозначим текущие координаты через u и v, поскольку эта кривая описывается точкой $w = u + iv$. Уравнение кривой L_1 мы должны получить в форме $\Psi(u, v) = 0$. Возьмем на кривой L_1 некоторую точку $w = u + iv$. Она соответствует некоторой точке $z = x + iy$ кривой L. Так как z и w связаны соотношением $w = f(z)$, то $u = u(x, y)$, $v = v(x, y)$. Решая эту систему уравнений относительно x и y, получим $x = x(u, v)$, $y = y(u, v)$. Подставляя эти выражения для x и y в уравнение $\varphi(x, y) = 0$, получим уравнение $\varphi(x(u, v), y(u, v)) = 0$. Это уравнение и будет уравнением $\psi(u, v) = 0$ кривой L_1.

Если плоскости Oxy и O_1uv совмещены, то кривые L и L_1 расположены на одной плоскости. Линия L_1 называется образом линии L.

Иногда удобно выразить из уравнения $w = f(z)$ сначала z без w, а затем x и y через u и v.

Пример 1

Кривая L задана на плоскости Oxy уравнением $x^2 + y^2 = 4$. Найти ее образ при отображении $w = 2iz - 1$.

Решение

Положим $z = x + iy$, $w = u + iv$. Тогда равенство $w = 2iz - 1$ перепишется в виде $u + iv = 2i(x + iy) - 1$, откуда $u = -2y - 1$, $v = 2x$. Выражаем x и y через u и v: $x = \frac{v}{2}$, $y = -\frac{u+1}{2}$. Подставляем найденные выражения для x и y в уравнение $x^2 + y^2 = 4$ кривой L: $\left(\frac{v}{2}\right)^2 + \frac{(u+1)^2}{4} = 4$. После упрощения получаем уравнение кривой L_1 в виде $(u+1)^2 + v^2 = 16$.

Итак, кривая L – окружность с центром в начале координат радиуса 2 – преобразуется с помощью заданной функции $w = 2\,i\,z - 1$ в кривую L_1 – окружность с центром $(-1;\,0)$ радиуса 4.

Пример 2

При отображении $w = \dfrac{1}{z}$ найти образ прямой линии $y = x + 1$.

Решение

Из уравнения $w = \dfrac{1}{z}$ находим $z = \dfrac{1}{w}$. Подставим $z = x + iy$,

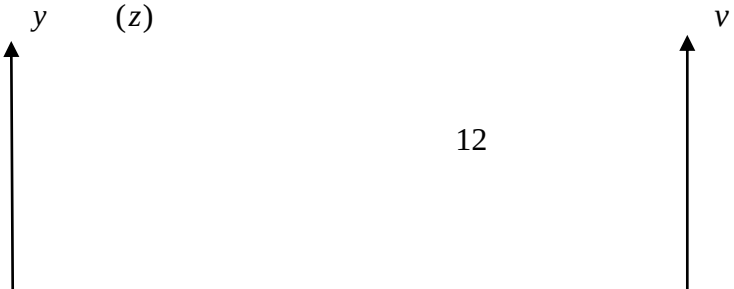
$w = u + iv : x + iy = \dfrac{1}{u + iv}$, $x + iy = \dfrac{u - iv}{u^2 + v^2}$, откуда $x = \dfrac{u}{u^2 + v^2}$, $y = -\dfrac{v}{u^2 + v^2}$.

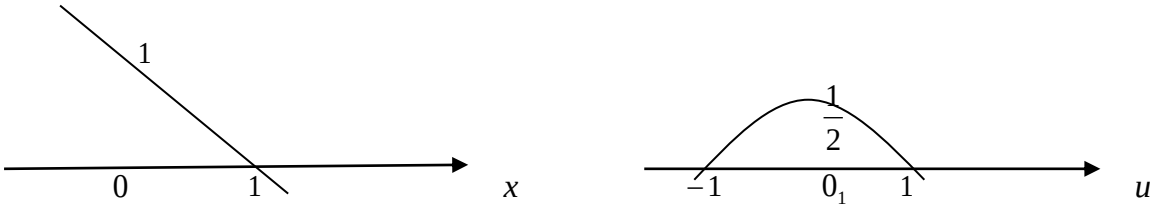
Найденные выражения для x и y подставим в уравнение линии L $y = x + 1$: $-\dfrac{v}{u^2 + v^2} = \dfrac{u}{u^2 + v^2} + 1$, после преобразования имеем $u^2 + v^2 + u + v = 0$ или $\left(u + \dfrac{1}{2}\right)^2 + \left(v + \dfrac{1}{2}\right)^2 = \dfrac{1}{2}$. Это уравнение в плоскости $O_1 u v$ определяет линию L_1 - окружность с центром $\left(-\dfrac{1}{2}; -\dfrac{1}{2}\right)$ радиуса $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$.

Пример 3

Пусть $w = z^2$. Найти образ прямой $x + y = 1$.

Выделяя действительную и мнимую части функции $w = z^2$, получим $u = x^2 - y^2$, $v = 2xy$. Далее из трех уравнений $u = x^2 - y^2$, $v = 2xy$, $x + y = 1$ исключаем x и y: $u = (x - y)(x + y)$ или $u = (x - y)$, так как $x + y = 1$, тогда $u^2 + 2v = x^2 - 2xy + y^2 + 4xy = (x + y)^2 = 1$. Получили уравнение образа $u^2 + 2v = 1$ – это уравнение параболы в плоскости $O_1 u v$, вершина которой – точка $\left(0; \dfrac{1}{2}\right)$.





Пример 4

Построить на комплексной плоскости множество точек z, удовлетворяющих условиям:

а) $|z-3+2i|=1$; б) $-1<\operatorname{Re} z<1$; в) $Jmz=-2$; г) $|z-1|+|z+1|<3$;

д) $1<|z+2i|<2$; е) $\frac{\pi}{4}<\arg z<\pi$; ж) $|z|<1$; $-\frac{\pi}{4}<\arg z<\frac{\pi}{4}$.

Решение

а) $|z-3+2i|=|z-(3-2i)|$ есть расстояние от точки z до точки $3-2i$.

Значит, уравнению *а*) удовлетворяют все точки z, лежащие на окружности радиуса 1 с центром $(3;-2)$.

б) Полагая $z=x+iy$, имеем $\operatorname{Re} z=\operatorname{Re}(x+iy)=x$.

Значит, условие *б*) можно записать так: $-1<x<1$. Очевидно, этому условию удовлетворяют точки z, лежащие в полосе между прямыми $x=-1$ и $x=1$, параллельными оси Oy.

в) Полагая $z=x+iy$, имеем $Jmz=Jm(x+iy)=y$.

Значит, условие *в*) можно записать так: $y=-2$. Этому условию удовлетворяют точки прямой $y=-2$, параллельной оси Oy.

г) Равенство $|z-1|+|z+1|<3$ выражает, что сумма расстояний от точки z до точек $+1$ и -1 равна 3. Множество таких точек есть эллипс с фокусами в точках $+1$ и -1 $(c=1)$ и с большой осью $2a=3$. Значит, неравенству *г*) удовлетворяют точки, лежащие внутри этого эллипса с полуосями $a=\frac{3}{2}$, $b=\frac{\sqrt{5}}{2}$.

д) Неравенству *д*) удовлетворяют все точки кольца, ограниченного концентрическими окружностями радиусов 1 и 2 с центром в точке $(0,-2)$.

е) Неравенство *е*) определяет множество точек z, лежащих внутри угла, вершина которого находится в начале координат, а сторонами являются лучи, наклоненные к положительному направлению оси Ox под углами $\frac{\pi}{4}$ и π.

ж) Система неравенств *ж*) определяет сектор, ограниченный окружностью с центром в начале координат радиуса 1 и радиусами, образующими с осью Ox углы $-\frac{\pi}{4}$ и $\frac{\pi}{4}$.

Для проверки усвоения пройденного материала на практических занятиях студентам можно предложить выполнить самостоятельные работы.

Самостоятельная работа № 1

Вариант 1

1) Найти модули и аргументы комплексных чисел:

$$z_1 = -2; \quad z_2 = 1 - i; \quad z_3 = -1 - \sqrt{3}\, i; \quad z_4 = 5.$$

2) Построить на комплексной плоскости (z) кривые, заданные уравнениями:

а) $|z| = 3$; б) $|z + 1 - 2i| = 2$; в) $Jmz = 4$; г) $\arg z = \frac{\pi}{6}$.

Вариант 2

1) Найти модули и аргументы комплексных чисел:

$z_1 = -2i$; $z_2 = -\sqrt{3} + i$; $z_3 = -2 - 2i$; $z_4 = -4$.

2) Построить на комплексной плоскости (z) кривые, заданные уравнениями:

а) $|z - 3 + 2i| = 1$; б) $|z| = 2$; в) $\operatorname{Re} z = 4$; г) $\arg z = \frac{2\pi}{3}$.

Самостоятельная работа № 2

Вариант 1

1) Найти образ линии $x^2 + y^2 = 1$ при отображении $w = \frac{1}{z}$.

2) Построить на комплексной плоскости (z) множества точек z, удовлетворяющих неравенствам:

а) $2 < |z + 2i| < 4$; б) $\mathrm{Re}\, z < -1$; в) $\frac{\pi}{2} < \arg z < \frac{3\pi}{4}$; г) $|z+1| < 1$ и $Jmz < 0$.

Вариант 2

1) Найти образ линии $y = x^2$ при отображении $w = i\,z + 1$.
2) Построить на комплексной плоскости (z) множества точек z, удовлетворяющих неравенствам:

а) $-1 < Jmz < 2$; б) $|z + 3 + i| > 1$; в) $\arg z > \frac{\pi}{3}$; г) $|z+1| < 1$ и $\mathrm{Re}\, z < -1$.

4. ПРЕДЕЛ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Пусть $w = f(z)$ – однозначная функция, определенная для любого $z \in D$ за исключением, может быть, точки z_0.

Говорят, что функция $f(z)$ стремится к пределу $A\,(A \neq \infty)$, когда $z \to z_0$ (конечному), и пишут $\lim_{z \to z_0} f(z) = A$, если для любого сколь угодно малого положительного числа ξ можно найти положительное число $\delta = \delta(\xi)$ такое, что для всех z, отличных от z_0 и удовлетворяющих неравенству $|z - z_0| < \delta$, выполняется неравенство $|f(z) - A| < \xi$. Геометрически это означает, что как только z попадет в δ – окрестность точки z_0, то $w = f(z)$ попадет в ξ- окрестность точки A.

Полагая $A = B + iC$, $f(z) = u(x, y) + i\,v(x, y)$, $z_0 = x_0 + i\,y_0$, докажем теорему, устанавливающую связь между пределом функции и пределами ее действительной и мнимой частей.

Теорема

Если существует $\lim_{z \to z_0} f(z) = A = B + iC$, то существуют

$\lim_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} u(x, y) = B$ и $\lim_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} v(x, y) = C$.

Доказательство

$$f(z) - A = u(x, y) - B + i(v(x, y) - C).$$

Тогда $|f(z) - A| = \sqrt{(u(x, y) - B)^2 + (v(x, y) - C)^2} < \xi$

при $|z - z_0| = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} < \delta$ по определению предела.

Отсюда следует, что $|u(x, y) - B| < \xi$ и $|v(x, y) - C| < \xi$

при $|x - x_0| < \delta$ и $|y - y_0| < \delta$.

А это означает, что $\lim\limits_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} u(x, y) = B$ и $\lim\limits_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} v(x, y) = C$.

Справедливо и обратное утверждение.

Из доказанной теоремы следует: если $f(z) \to A$, то $|f(z)| \to |A|$, $\arg f(z) \to \arg A$ при условии $A \neq 0, \infty$.

Действительно,

$$|f(z)| = \sqrt{u^2 + v^2} \to \sqrt{B^2 + C^2} = |A|; \ \arg f(z) = arc\,tg\frac{v}{u} \to arc\,tg\frac{C}{B} = \arg A.$$

Поэтому основные теоремы о пределах функций действительных переменных распространяются без изменения на пределы функций комплексной переменной.

Например, если функции $f(z)$ и $g(z)$ определены в некоторой области D и для них $\lim_{z \to z_0} f(z) = A_1$; $\lim_{z \to z_0} q(z) = A_2$, то $\lim_{z \to z_0} (f(z) \pm q(z)) = A_1 \pm A_2$; $\lim_{z \to z_0} f(z)\,q(z) = A_1 A_2$; $\lim_{z \to z_0} \frac{f(z)}{q(z)} = \frac{A_1}{A_2}$, если $A_2 \neq 0$.

Говорят, что $\lim_{z \to z_0} f(z) = A$, $A \neq \infty$, если для любого $\xi > 0$ существует $N(\xi)$ такое, что при $|z| > N(\xi)$ выполняется неравенство $|f(z) - A| < \xi$.

Говорят, что $\lim_{z \to z_0} f(z) = \infty$, если для любого $N > 0$ можно указать такую окрестность точки z_0, что если $z \in D$ и $z \neq z_0$ принадлежит этой окрестности, то $|f(z)| > N$.

Часто применяется понятие о пределе функции по кривой. Говорят, что $f(z) \to A$ при $z \to z_0$ по кривой L, если выполнение условия $|f(z) - A| < \xi$ при $|z - z_0| < \delta$ рассматривается только для точек z, лежащих на кривой L.

Очевидно, если $f(z) \to A$ при $z \to z_0$, то $f(z) \to A$ и по любой кривой. Если же по двум кривым функция имеет разные пределы или по какой-нибудь кривой предела вовсе нет, то $\lim_{z \to z_0} f(z)$ не существует.

5. НЕПРЕРЫВНОСТЬ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Пусть функция $w = f(z)$ определена в точке z_0 и в некоторой ее окрестности.

Функция $f(z)$ называется непрерывной в точке z_0, если $\lim_{z \to z_0} f(z) = f(z_0)$.

Как и в анализе функций действительных переменных, назовем $z - z_0 = \Delta z$ приращением аргумента, а $f(z) - f(z_0) = \Delta w$ – приращением функции. Тогда функция $f(z)$ будет непрерывной в точке z_0, если $\lim_{\Delta z \to 0} \Delta w = 0$. Условие непрерывности функции $f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$ в точке $z_0 = x_0 + iy_0$ эквивалентно двум следующим: $\lim\limits_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} u(x, y) = u(x_0, y_0)$ и $\lim\limits_{\substack{x \to x_0 \\ y \to y_0}} v(x, y) = v(x_0, y_0)$, выражающим непрерывность двух действительных функций $u(x, y)$ и $v(x, y)$ в той же точке (x_0, y_0). Справедливо и обратное утверждение. Отсюда следует, что теоремы о непрерывности суммы, произведения и частного непрерывных функций действительных переменных будут справедливы и для непрерывных функций комплексной переменной.

Если функция $f(z)$ непрерывна в каждой точке множества D, то она называется непрерывной на этом множестве.

Точками разрыва функции $f(z)$ называются точки, в которых нарушается непрерывность функции.

Функция $w = \dfrac{z}{z - i}$ непрерывна на всей комплексной плоскости, кроме точки $z = i$, а функция $w = \dfrac{2z + 1}{|z - 2| - 3}$ непрерывна на всей комплексной плоскости, кроме точек окружности $|z - 2| = 3$.

6. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

6.1. Показательная функция e^z

Показательная функция e^z, где $z = x + iy$, определяется так:

$$e^z = e^{x+iy} = e^x\,(\cos y + i \sin y).$$

Функция $e^z \neq 0$ на всей комплексной плоскости. Для e^z сохраняются правила действий с показателями:

$$(e^z)^m = e^{nz}; \quad e^{z_1+z_2} = e^{z_1} e^{z_2}.$$

Показательная функция e^z имеет основной период $2\pi i$, т. е. любой другой ее период равен $2\pi k i$, где k – целое число.

Действительно, $e^{z+2\pi i} = e^z e^{2\pi i} = e^z(\cos 2\pi + i \sin 2\pi) = e^z$.

Пример

Вычислить значение $e^{-1+\frac{\pi}{4}i}$, записать его модуль, действительную и мнимую части.

Решение

$$e^{-1+\frac{\pi}{4}i} = e^{-1}\left(\cos\frac{\pi}{4} + i \sin\frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{e}\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + i\,\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2e}(1+i), \quad \operatorname{Re}\left(e^{-1+\frac{\pi}{4}i}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2e};$$

$$Jm\left(e^{-1+\frac{\pi}{4}i}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2e}, \quad \left|e^{-1} e^{\frac{\pi}{4}i}\right| e^{-1} = \frac{1}{e}.$$

6.2. Тригогометрические функции $\sin z$, $\cos z$

Тригонометрические функции $z = \sin z$, $z = \cos z$ определяются так:

$$\sin z = \frac{e^{iz} - e^{-iz}}{2i}, \quad \cos z = \frac{e^{iz} + e^{-iz}}{2}, \quad z \in C.$$

$\sin z$ и $\cos z$ сохраняют многие свойства тригонометрических функций действительной переменной.

Например, $\sin^2 z + \cos^2 z = 1$, $\sin(z_1 + z_2) = \sin z_1 \cos z_2 + \sin z_2 \cos z_1$, $\cos(z_1 + z_2) = \cos z_1 \cos z_2 - \sin z_1 \sin z_2$.

Так как показательная функция e^z имеет основной период $2\pi i$, то показательная функция e^{iz} имеет основной период 2π, тогда $\sin z$ и $\cos z$ тоже имеют основной период 2π.

Пример

Вычислить $\cos(2+3i)$.

Решение

$\cos z = \dfrac{e^{iz} + e^{-iz}}{2}$. Подставляя $z = 2 + 3i$, получим

$$\cos(2+3i) = \frac{e^{i(2+3i)} + e^{-i(2+3i)}}{2} = \frac{e^{2i-3} + e^{2i+3}}{2} = \frac{1}{2}(e^{-3}(\cos 2 + i \sin 2) + e^{3}(\cos 2 - i \sin 2)) =$$

$$= \frac{1}{2}(e^{3} + e^{-3}) \cos 2 - i \frac{1}{2}(e^{3} - e^{-3}) \sin 2 = ch\,3 \cdot \cos 2 - i\, sh 3 \cdot \sin 2.$$

6.3. Логарифмическая функция $Ln\ z$

Если $e^w = z$, где $z \neq 0$, $z \neq \infty$, то число w называется логарифмом комплексного числа z (по основанию e) и обозначается $w = Ln\ z$.

Чтобы получить формулу для вычисления логарифма комплексного числа в равенстве $e^w = z$, положим $w = u + iv$, а $z = r(\cos\varphi + i \sin\varphi)$, тогда $e^{u+iv} = r(\cos\varphi + i \sin\varphi)$ или $e^u = r(\cos v + i \sin v) = r(\cos v + i \sin v) = r(\cos\varphi + i \sin\varphi)$. По определению, два комплексных числа равны тогда и только тогда, когда равны их модули, а аргументы отличаются на число, кратное 2π. Следовательно, $e^u = r$, а $v = \varphi + 2\pi k$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$, откуда $u = \ln r = \ln |z|$.

Итак,

$$Ln\ z = w = u + iv = \ln r + i(\varphi + 2\pi k).$$

Окончательно

$$Ln\ z = \ln |z| + i \arg z + 2\pi k i, \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$

Значение логарифма при $k = 0$ называется главным, его обозначают $\ln z$, оно равно $\ln z = \ln |z| + i \arg z$.

Из изложенного следует, что логарифмы можно находить не только для положительных чисел, но и для произвольных комплексных чисел. При этом обнаружилось, что логарифмическая функция не однозначная, а многозначная, то

есть каждое комплексное число имеет бесконечное множество логарифмов. В частности, имеют логарифмы и отрицательные числа, но при этом все значения логарифма комплексные.

Если $z = x-$ действительное положительное число, то $|z| = x$, а $\arg z = 0$. Поэтому главное значение логарифма действительного положительного числа совпадает со значением $\ln z$, приводимым обычно в таблицах натуральных логарифмов. Но, кроме этих действительных значений, логарифмы положительных чисел имеют еще и бесконечное множество комплексных значений.

Все значения логарифма комплексного числа имеют одну и ту же действительную часть $\ln|z|$, поэтому геометрически значения логарифма изображаются на плоскости (w) точками вертикальной прямой $u = \ln|z|$.

Пример

Найти $Ln(-1+i)$ и $\ln(-1+i)$.

Решение

$|-1+i| = \sqrt{2}$, $\arg(-1+i) = \dfrac{3\pi}{4}$.

Поэтому $Ln(-1+i) = \ln\sqrt{2} + i\dfrac{3\pi}{4} + 2\pi ki, k = 0,\pm1,\pm2,...;\ \ln(-1+i) = \ln\sqrt{2} + \dfrac{3\pi}{4}i$.

6.4. Общая степенная функция z^γ

Если $w = z^\gamma$, где z – произвольное, отличное от 0 и ∞ комплексное число, а γ – любое комплексное число, то полагают по определению

$$w = z^\gamma = e^{\gamma Lnz}.$$

Пусть $z = re^{i\varphi}, \gamma = a + bi$ тогда

$$w = z^\gamma = e^{\gamma Lnz} = e^{(a+bi)(\ln r + i\varphi + 2\pi ki)} = e^{a\ln r - b\varphi - 2\pi kb} \cdot e^{i(b\ln r + a\varphi + 2\pi ka)},\ k = 0, \pm1, \pm2,...$$

Так как логарифм комплексного числа имеет бесконечное множество значений, то и выражение z^γ имеет бесконечное множество значений, но в частных случаях они могут все совпадать (если γ – целое число) или среди них может быть только конечное число различных значений (если γ – дробное число).

Пример

Вычислить: а) 2^{3+5i}; б) i^i.

Решение

а)

$$2^{3+5i} = e^{(3+5i)Ln2} = e^{(3+5i)(\ln 2+2\pi ki)} = e^{(3\ln 2-10\pi k)+i(5\ln 2+6\pi k)}$$

$$= e^{3\ln 2-10\pi k} \cdot e^{i5\ln 2} = = e^{3\ln 2-10\pi k}(\cos(5\ln 2) + i\sin(5\ln 2)); k = 0,\pm 1,\pm 2,...$$

б) $i^i = e^{iLni} = e^{i(\ln 1+i\frac{\pi}{2}+2\pi ki)} = e^{-(\frac{\pi}{2}+2\pi k)}, k = 0,\pm 1,\pm 2,...$

Видно, что все полученные значения i^i – действительные числа.

Например, при $k = 0$ имеем $i^i = e^{-\frac{\pi}{2}} \approx 0{,}2079$.

Самостоятельная работа № 3

Вариант 1

1) Выделить действительную и мнимую части функции $w = ie^{\pi - i}$.
2) Вычислить:

а) $\sin(4-i)$; б) $Ln(-\sqrt{3}-i)$; в) $(1-i)^{2+i}$.

Вариант 2

1) Выделить действительную и мнимую части функции $w = \sin z$.
2) Вычислить:

а) $\cos(2+5i)$; б) $\ln(-\sqrt{3}-i)$; в) $(1+i)^{3-i}$.

7. ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

7.1. Определение производной

Пусть $w = f(z)$ есть однозначная функция, определенная в области D плоскости комплексной переменной (z).

1. $z \in D, z+\Delta z \in D, w = f(z), w+\Delta w = f(z+\Delta z).$

2. $\Delta w = f(z+\Delta z) - f(z)$ есть приращение функции $f(z)$ при переходе от точки z к точке $z+\Delta z$.

3. $\frac{\Delta w}{\Delta z} = \frac{f(z+\Delta z) - f(z)}{\Delta z}$.

4. Если существует конечный предел отношения $\frac{\Delta w}{\Delta z}$ при произвольном стремлении $\Delta z \to 0$, то этот предел называется *производной функции* $f(z)$ в точке z и обозначается $w' = f'(z) = \lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z}$, а функция $f(z)$ называется *дифференцируемой в точке* z.

Из дифференцируемости $f(z)$ в точке z следует ее непрерывность в этой точке: $\frac{\Delta w}{\Delta z} = f'(z) + \alpha$, где $\alpha \to 0$ при $\Delta z \to 0$.

Тогда $\Delta w = f'(z)\Delta z + \alpha \Delta z$, откуда $\lim\limits_{\Delta z \to 0} \Delta w = 0$, что означает непрерывность $f(z)$ в точке z.

Из непрерывности $f(z)$ в точке z дифференцируемость $f(z)$ не следует.

Если функция $f(z)$ имеет производную в каждой точке области D, то она называется *дифференцируемой в этой области.*

7.2. Необходимые и достаточные условия дифференцируемости функции комплексной переменной (условия Коши-Римана)

Пусть $w = f(z)$ – однозначная функция, определенная в области D плоскости комплексной переменной (z). Точки $z = x + iy$ и $z + \Delta z = (x + \Delta x) + i(y + \Delta y)$ принадлежат области D.

Тогда

$$\Delta z = \Delta x + i\Delta y; \Delta w = f(z+\Delta z) - f(z) =$$

$$= (u(x+\Delta x, y+\Delta y) + iv(x+\Delta x, y+\Delta y)) - (u(x,y) + iv(x,y)) = \Delta u + i\Delta v,$$

где $\Delta u = u(x+\Delta x, y+\Delta y) - u(x,y)$ и $\Delta v = v(x+\Delta x, y+\Delta y) - v(x,y)$ есть полные приращения функций $u(x,y)$ и $v(x,y)$.

Теорема

Для того, чтобы однозначная функция $w = f(z) = u(x,y) + iv(x,y)$ была дифференцируема в точке $z = x + iy$, необходимо и достаточно, чтобы в точке (x,y) существовали частные производные функций $u(x,y)$ и $v(x,y)$, причем эти производные удовлетворяли условиям:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}; \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}.$$

Эти условия называют условиями Коши - Римана.

Так как эти условия значительно раньше были найдены Даламбером и Эйлером, то их называют также условиями Даламбера - Эйлера.

Доказательство

Необходимость

Функция $w = f(z)$ дифференцируема в точке z, поэтому существует конечный предел $\lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z} = \lim\limits_{\substack{\Delta x \to 0 \\ \Delta y \to 0}} \frac{\Delta u + i\Delta v}{\Delta x + i\Delta y} = f'(z)$, предел не зависит от того, как точка $z + \Delta z \to z$.

Предположим, что точка $z + \Delta z$ приближается к точке z, например, по прямой, параллельной оси $0x$, тогда $\Delta y = 0, \Delta z = \Delta x$ и

$$f'(z) = \lim_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta u + i\Delta v}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} \left(\frac{\Delta u}{\Delta x} + i\frac{\Delta v}{\Delta x}\right) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} + i \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta x} = \frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x}.$$

Если точка $z + \Delta z \to z$ по прямой, параллельной оси $0y$, то $\Delta x = 0, \Delta z = i\Delta y$, поэтому

$$f'(z) = \lim_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z} = \lim_{\Delta y \to 0} \frac{\Delta u + i\Delta v}{i\Delta y} = \lim_{\Delta y \to 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta y} - i\frac{\Delta u}{\Delta y}\right) = \frac{\partial v}{\partial y} - i\frac{\partial u}{\partial y}.$$

Так как $\lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z}$ не зависит от способа стремления $\Delta z \to 0$, то, приравнивая полученные выражения для $f'(z)$, находим $f'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} - i\frac{\partial u}{\partial y}$ откуда по определению равенства двух комплексных чисел получаем условия Коши-Римана: $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}; \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$.

Необходимость доказана.

Достаточность

Так как функции $u(x,y)$ и $v(x,y)$ дифференцируемы в точке (x,y), то их полные приращения в этой точке можно представить в виде

$$\Delta u = \frac{\partial u}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial u}{\partial y}\Delta y + \alpha_1; \Delta v = \frac{\partial v}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial v}{\partial y}\Delta y + \alpha_2,$$

где α_1 и $\alpha_2 \to 0$ при $|\Delta z| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \to 0$, причем $\frac{\alpha_1}{\Delta z} \to 0$ и $\frac{\alpha_2}{\Delta z} \to 0$.

Тогда при условии, что частные производные функций $u(x,y)$ и $v(x,y)$ в точке (x,y) удовлетворяют условиям Коши-Римана, приращение функции $w = f(z)$ запишется в виде

$$\Delta w = f(z+\Delta z) - f(z) = \Delta u + i\Delta v =$$

$$= \frac{\partial u}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial u}{\partial y}\Delta y + \alpha_1 + i(\frac{\partial v}{\partial x}\Delta x + \frac{\partial v}{\partial y}\Delta y + \alpha_2) =$$

$$= (\frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x})\Delta x + i\Delta y(\frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x}) + \alpha = (\frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x})\Delta z + \alpha = A\Delta z + \alpha,$$

где $A = \frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x}$ - некоторое постоянное комплексное число, не зависящее от Δz, а $\alpha = \alpha_1 + i\alpha_2$ – бесконечно малая более высокого порядка, чем $|\Delta z|$, т. е. $\to 0$ при $|\Delta z| \to 0$.

Найдем $\lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z} = \lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{A\Delta z + \alpha}{\Delta z} = \lim\limits_{\Delta z \to 0} (A + \frac{\alpha}{\Delta z}) = A$.

Следовательно, $\lim\limits_{\Delta z \to 0} \frac{\Delta w}{\Delta z}$ существует, конечен и не зависит от способа стремления $\Delta z \to 0$, а значит, существует производная функции $w = f(z)$ в точке $z = x + iy$.

Если функция $w = f(z)$ в некоторой точке удовлетворяет условиям Коши-Римана, то производная в этой точке может быть вычислена по одной из формул:

$$f'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} - i\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u}{\partial x} - i\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} + i\frac{\partial v}{\partial x}.$$

7.3. Правила дифференцирования

Из определения производной, правил алгебраических действий и теорем о пределах функций комплексной переменной следует, что основные правила дифференцирования функций действительного аргумента остаются справедливыми и для функций комплексной переменной.

7.4. Аналитические функции

Определение 1

Если однозначная функция $w = f(z)$ дифференцируема в области D, то она называется аналитической в этой области.

Определение 2

Однозначная функция $w = f(z)$ называется аналитической в точке z, если она дифференцируема как в самой точке z, так и в некоторой ее окрестности.

Пример

Является ли аналитической а) $w = e^z$; б) $w = (\bar{z})^2$?

Решение

а) $w = u + iv, z = x + iy$

$$w = e^z = e^x(\cos y + i\sin y), \text{ тогда } u = e^x \cos y, v = e^x \sin y$$

Найдем частные производные этих функций

$$\frac{\partial u}{\partial x} = e^x \cos y; \quad \frac{\partial u}{\partial y} = -e^x \sin y; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = e^x \sin y; \quad \frac{\partial v}{\partial y} = e^x \cos y..$$

Условия Коши-Римана $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}; \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$ выполняются в любой (x, y), следовательно, функция $w = e^z$ дифференцируема на всей комплексной плоскости (z), а значит и аналитическая на всей комплексной плоскости.

б) $w = u + iv, z = x + iy; u + iv = (x - iy)^2; u + iv = x^2 - 2xyi - y^2;$

тогда $u = x^2 - y^2; v = -2xy; \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 2x; \frac{\partial u}{\partial y} = -2y; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = -2y; \quad \frac{\partial v}{\partial y} = -2x.$

Условия Коши-Римана выполняются только в точке $z = 0$, так как равенства $2x = -2x$ и $-2y = 2y$ имеют место лишь при $x = y = 0$.

Следовательно, функция $w = (\bar{z})^2$ дифференцируема лишь в точке $z = 0$. Но, так как в окрестности точки $z = 0$ заданная функция не дифференцируема, она не будет аналитической в точке $z = 0$.

7.5. Геометрический смысл производной функции комплексной переменной

Пусть функция $w = f(z)$, аналитическая в области D плоскости (z), отображает эту область в область G плоскости (W). Пусть, далее, точка $z_0 \in D$, а соответствующая ей при отображении точка $w_0 \in G$ и $f'(z_0) \neq 0$. Тогда величина $k = |f'(z_0)| = \lim\limits_{z \to z_0} \frac{|w - w_0|}{|z - z_0|}$ есть коэффициент искажения или масштаб в точке z_0 при отображении $w = f(z)$.

Если $k>1$, то дуги при отображении растягиваются, если $k<1$, то дуги сжимаются, если $k=1$, то масштаб при отображении не меняется. Так как производная в точке z_0 не зависит от того, по какой кривой $z \to z_0$, то все бесконечно малые дуги, проходящие через точку z_0, при отображении будут подвергаться одинаковому искажению.

$\arg f'(z_0) = \lim\limits_{z \to z_0} (\arg(w - w_0) - \arg(z - z_0))$ - это угол, на который нужно повернуть касательную к некоторой линии L в точке z_0 для того, чтобы получить направление касательной к преобразованной кривой L_1 в точке $w_0 = f(z_0)$.

При отображении с помощью аналитической функции углы между кривыми сохраняются не только по величине, но и по направлению, во всех точках, где $f'(z_0) \neq 0$.

Определение

Всякое отображение, обладающее в некоторой точке свойством постоянства углов и свойством постоянства растяжений, называется конформным в этой точке.

Отображение с помощью аналитической функции $w = f(z)$ в точке z_0, для которой $f'(z_0) \neq 0$, является конформным отображением.

Самостоятельная работа № 4

Вариант 1

1) Найти область дифференцируемости функции $w = z^2 + (3-i)z + i$ и ее производную.
2) Вычислить:

   а) $\cos(1-3i)$; б) $Ln(\sqrt{3}+i)$; в) $(2i)^{5+i}$.

Вариант 2

1) Найти область дифференцируемости функции $w = \cos z$ и её производную.
2) Вычислить:

   а) $(i-\sqrt{3})^{2i+1}$; б) $\ln(-3-\sqrt{3}i)$; в) $\sin(i-2)$

Самостоятельная работа № 5

Вариант 1

1) Сформулируйте достаточные условия дифференцируемости функции $f(z)$.
2) Дифференцируема ли функция $w = \overline{z}$?
3) Вычислить:

   а) $\ln(-4-4i)$; б) 5^{4-3i}; в) $\sin 3i$.

Вариант 2

1) Какая функция называется аналитической в точке и в области?
2) Установить, дифференцируема ли функция $w = e^{\overline{z}}$.
3) Вычислить:

   а) 2^{1+5i}; б) $Ln(-5i)$; в) $\cos(4+i)$.

Самостоятельная работа № 6

Вариант 1

1) Найти область аналитичности функции $w = e^{2z} + iz$.
2) Найти образ линии $x^2 + y^2 = 4$ при отображении $w = iz + 2$.

Вариант 2

1) Найти образ линии $x^2 + (y-1)^2 = 1$ при отображении $w = \overline{z}$.
2) Проверить условия Коши-Римана для функции $w = e^{z^2}$.

8. ИНТЕГРИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

8.1. Интеграл от функции комплексной переменной

Пусть в некоторой области D плоскости комплексной переменной (z) задана однозначная и непрерывная функция $w = f(z) = u(x, y) + iv(x, y)$, и пусть γ – произвольная гладкая или кусочно-гладкая кривая, целиком лежащая в области D.

Выберем на дуге γ направление обхода от точки a к точке b.

1) Разобьем дугу γ произвольно на n частичных дуг точками $z_0 = a, z_1, z_2, ..., z_{n-1}, z_n = b;$; обозначим $z_k - z_{k-1} = \Delta z_k = \Delta x_k + i\,\Delta y_k$.
2) Выберем на каждом участке (z_{k-1}, z_k) дуги γ по точке $\varsigma_k = \xi_k + i\eta_k$.
3) Образуем сумму

$$\sigma_n = \sum_{k=1}^{n} f(\varsigma_k)\Delta z_k = \sum_{k=1}^{n} (u(\xi_k, \eta_k) + iv(\xi_k, \eta_k)) \cdot (\Delta x_k + i\Delta y_k) = \sum_{k=1}^{n} (u(\xi_k, \eta_k)\Delta x_k - v(\xi_k, \eta_k)\Delta y_k) +$$

$$+ i\sum_{k=1}^{n} (u(\xi_k, \eta_k)\Delta y_k + v(\xi_k, \eta_k)\Delta x_k),$$

которую назовем интегральной суммой функции $f(z)$.

Предел интегральной суммы σ_n, вычисленный при стремлении к нулю длины наибольшей из частичных дуг (при $n \to \infty$), не зависящий ни от способа разбиения дуги γ на частичные дуги (z_{k-1}, z_k), ни от выбора точек ς_k, называется интегралом от функции $f(z)$ по дуге γ и обозначается

$$\int_{\gamma} f(z)dz = \lim_{\max|\Delta z_k| \to 0} \sum_{k=1}^{n} f(\varsigma_k)\Delta z_k .$$

При указанных выше требованиях к функции $f(z)$ и контуру γ этот предел всегда существует.

Действительно,

$$\int_{\gamma} f(z)dz = \lim_{n\to\infty} \sum_{k=1}^{n} (u(\xi_k,\ \eta_k)\Delta x_k - v(\xi_k, \eta_k)\Delta y_k) + i\ \lim_{n\to\infty} \sum_{k=1}^{n} (u(\xi_k, \eta_k)\Delta y_k + v(\xi_k, \eta_k)\Delta x_k).$$

По условию $f(z)$ непрерывна в области D, значит, в этой области непрерывны и функции $u(x, y)$ и $v(x, y)$, а γ – гладкая или кусочно-гладкая кривая. Поэтому пределы сумм, стоящих в правой части последнего равенства, существуют и являются криволинейными интегралами по координатам от функций действительных переменных.

Таким образом,

$$\int_\gamma f(z)dz = \int_\gamma u(x,y)dx - v(x,y)dy + i\int_\gamma v(x,y)dx + u(x,y)dy .$$

Эта формула дает выражение интеграла от функции комплексной переменной через два криволинейных интеграла от действительных функций. Отсюда же следует, что основные свойства криволинейных интегралов по координатам распространяются и на интегралы от функций комплексной переменной.

Некоторые из этих свойств есть:

1) $\int_{AB} f(z)dz = -\int_{BA} f(z)dz$;
2) $\int_\gamma af(z)dz = a\int_\gamma f(z)dz$;
3) $\int_\gamma (f_1(z) \pm f_2(z))dz = \int_\gamma f_1(z)dz + \int_\gamma f_2(z)dz$;
4) $\int_{\gamma_1+\gamma_2} f(z)dz = \int_{\gamma_1} f(z)dz + \int_{\gamma_2} f(z)dz$.

8.2. Вычисление интеграла от функции комплексной переменной

1. Пусть дуга γ задана параметрическими уравнениями: $\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$, $\alpha \le t \le \beta$.

Тогда криволинейные интегралы сводим к определенным и получим

$$\int_\gamma f(z)\,dz = \int_\alpha^\beta u\,(x\,(t),\,y\,(t))\,x'(t)\,dt - v\,(x\,(t),y\,(t))\,y'(t)\,dt +$$

$$+ i\int_\alpha^\beta v\,(x\,(t),\,y\,(t))\,x'(t)\,dt + u\,(x\,(t),\,y\,(t))\,y'(t)\,dt =$$

$$= \int_\alpha^\beta (u\,(x\,(t),\,y\,(t)) + iv\,(x\,(t),\,y\,(t)))\,x'(t)\,dt +$$

$$+ \int_\alpha^\beta (u\,(x\,(t),\,y\,(t)) + iv\,(x\,(t),\,y\,(t)))\,iy'(t)\,dt = \int_\alpha^\beta (u\,(x\,(t),\,y\,(t)) + iv\,(x\,(t),$$

$$y\,(t)))\,(x'(t) + iy'(t))\,dt = \int_\alpha^\beta f\,(z\,(t))\,z'(t)\,dt = \int_\alpha^\beta f\,(z\,(t))\,dz\,(t),$$

то есть $\int\limits_{\gamma} f(z)\,dz = \int\limits_{\alpha}^{\beta} f\,(z\,(t))\,dz\,(t)$, где $z\,(t) = x\,(t) + iy\,(t)$.

2. Если дуга γ задана уравнением $y = g\,(x)$, где $a \le x \le b$, то, принимая за параметр x и записывая $z = x + ig(x)$, задачу сводим к случаю 1.

3. Если дуга γ задана уравнением $x = \varphi\,(y)$, где $x = \varphi\,(y)$, где $c \le y \le d$, то за параметр принимаем y и записываем $z = \varphi\,(y) + iy$. Задачу сводим к случаю 1.

Пример 1

Вычислить $\int\limits_{\gamma} (\bar{z})^2\,dz$ по отрезку, соединяющему точки $z = 0$ и $z = 1 + i$.

Решение

На прямой, соединяющей точки $z = 0$ и $z = 1 + i$, контур γ задается уравнением $z = x + ix = x\,(1 + i)$, где $0 \le x \le 1$. Тогда $\bar{z} = x\,(1 - i),\ dz = (1 + i)\,dx$ и

$$\int\limits_{\gamma} (\bar{z})^2\,dz = \int\limits_{0}^{1} x^2 (1-i)^2 (1+i)\,dx = 2\,(1-i) \int\limits_{0}^{1} x^2 dx = 2\,(1-i)\,\frac{x^3}{3}\Bigg|_0^1 = \frac{2}{3}\,(1-i)..$$

Пример 2

По ломаной γ с вершинами в точках $O\,(0, 0),\ A\,(1, 1),\ B\,(2, 1)$ вычислить интегралы:

а) $\int\limits_{\gamma} z^2 dz$; б) $\int\limits_{\gamma} \mathrm{Re}\, z dz$; в) $\int\limits_{\gamma} Jmz dz$; г) $\int\limits_{\gamma} |z| dz$.

Решение

а) Уравнение стороны $OA: y = x$, тогда $z = x + ix$ или $z = x\,(1 + i)$, где $0 \le x \le 1$, $dz = (1 + i)\,dx$, а

$$\int\limits_{OA} z^2 dz = \int\limits_{0}^{1} x^2 (1+i)^2 (1+i) dx = (1+i)^3 \int\limits_{0}^{1} x^2 dx = (1+i)^3\,\frac{x^3}{3}\Bigg|_0^1 = \frac{1}{3}(1 + 3i - 3 - i) = \frac{1}{3}(2i - 2) = -\frac{2}{3} + \frac{2}{3}i\,.$$

Уравнение стороны $AB: y = 1$, тогда $z = x + i,\quad dz = dx,\ \ 1 \le x \le 2$, а

$$\int\limits_{AB} z^2 dz = \int\limits_1^2 (x+i)^2 dx = \frac{(x+i)^3}{3}\Big|_1^2 = \frac{1}{3}((2+i)^3 - (1+i)^3) =$$

$$= \frac{1}{3}(2+i-1-i)((2+i)^2 + (2+i)(1+i) + (1+i)^2) = \frac{1}{3}(4+9i) = \frac{4}{3} + \frac{9}{3}i = \frac{4}{3} + 3i.$$

Окончательно, интеграл по всей ломаной равен

$$\int\limits_\gamma z^2 dz = \int\limits_{OA} z^2 dz + \int\limits_{AB} z^2 dz = -\frac{2}{3} + \frac{2}{3}i + \frac{4}{3} + 3i = \frac{2}{3} + \frac{11}{3}i.$$

б) $\operatorname{Re} z dz$. Для стороны OA: $z = x(1+i)$, $0 \le x \le 1$, $dz = (1+i)\,dx$. Тогда

$$\int\limits_{OA} \operatorname{Re}\, z\, dz = \int\limits_0^1 x\,(1+i)\,dx = (1+i)\,\frac{x^2}{2}\Big|_0^1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i.$$

Для стороны

$$AB:\ z = x+i,\quad 1 \le x \le 2,\quad dz = dx,\ \text{а}\ \int\limits_{AB} \operatorname{Re}\, z\, dz = \int\limits_1^2 x\,dx = \frac{x^2}{2}\Big|_1^0 = 2 - \frac{1}{2} = \frac{3}{2}.$$

Тогда

$$\int\limits_\gamma \operatorname{Re} z dz = \int\limits_{OA} \operatorname{Re} z dz + \int\limits_{AB} \operatorname{Re} z dz = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i + \frac{3}{2} = 2 + \frac{1}{2}i.$$

в) $J\ m\ z\ dz$.

$$\int\limits_\gamma Jmzdz = \int\limits_{OA} Jmzdz + \int\limits_{AB} Jmzdz = \int\limits_0^1 x\,(1+i)\,dx + \int\limits_1^2 dx = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i + 1 = \frac{3}{2} + \frac{1}{2}i.$$

г) $|\,z\,| = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Для стороны OA: $y = x$, $z = x(1+i)$, $dz = (1+i)dx$, $0 \le x \le 1$

$$\int\limits_{OA} |\,z\,|\,dz = \int\limits_0^1 x\sqrt{2}\,(1+i)\,dx = \sqrt{2}\,(1+i)\,\frac{x^2}{2}\Big|_0^1 = \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i.$$

Для стороны AB: $y = 1$, $z = x+i, dz = dx$, $1 \le x \le 2$,

$$\int\limits_{AB} |\, z \,|\, dz = \int\limits_{1}^{2} \sqrt{x^2+1}\, dx = \frac{1}{2} x\sqrt{x^2+1}\,\Big|_1^2 + \frac{1}{2}\ln(x+\sqrt{x^2+1})\,\Big|_1^2 =$$

$$= \sqrt{5} - \frac{1}{2}\sqrt{2} + \frac{1}{2}\ln(2+\sqrt{5}) - \frac{1}{2}\ln(1+\sqrt{2}).$$

Тогда

$$\int\limits_{\gamma} |\, z \,|\, dz = \int\limits_{OA} |\, z \,|\, dz + \int\limits_{AB} |\, z \,|\, dz = \sqrt{5} + \frac{1}{2}\ln(2+\sqrt{5}) - \frac{1}{2}\ln(1+\sqrt{2}) + \frac{\sqrt{2}}{2} i \approx 2{,}518 + 0{,}707i.$$

8.3. Основная теорема Коши

Теорема

Если $f(z)$ есть аналитическая функция односвязной области $\overline{D}$, то интеграл от $f(z)$ по любому замкнутому кусочно-гладкому контуру, целиком лежащему в области $\overline{D}$, равен нулю, т. е.

$$\oint\limits_{\gamma} f(z)\, dz = 0.$$

Доказательство

Известно, что $\oint\limits_{\gamma} f(z)\, dz = \oint\limits_{\gamma} u(x,y)\, dx - v(x,y)\, dy + i \oint\limits_{\gamma} v(x,y)\, dx + u(x,y)\, dy.$

Из аналитичности $f(z)$ в области D следует, что частные производные функций $u(x,y)$ и $v(x,y)$ существуют, удовлетворяют условиям Коши-Римана, $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}$; $\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$, а из предположения о непрерывности $f'(z)$ в области D следует непрерывность частных производных. Поэтому, применяя к криволинейным интегралам формулу Грина, получим

$$\oint\limits_{\gamma} f(z)\, dz = \iint\limits_{D_1} \left(-\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right) dx\, dy + i \iint\limits_{D_1} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right) dx\, dy.$$

Из условий Коши-Римана подынтегральное выражение в каждом двойном интеграле равно нулю, поэтому

$$\oint\limits_{\gamma} f(z)\, dz = 0..$$

Теорема доказана.

Следствие

Если функция $f(z)$ аналитична в односвязной области $\overline{D}$, то $\int\limits_{AB} f(z)\,dz$ не зависит от пути, соединяющего точки A и B, если дуга AB целиком лежит внутри области $\overline{D}$.

Пример 1

Вычислить по ломаной OAB (см. пример 2 раздела 8) и по отрезку OB интегралы:

а) $\int\limits_{\gamma} z^2 dz$; б) $\int\limits_{\gamma} \operatorname{Re} z dz$;

Решение

а) $\int\limits_{OAB} z^2 dz = \frac{2}{3} + \frac{11}{3} i$ (см. пример 2 раздела 8)

$$\int\limits_{OB} z^2 dz = \int\limits_0^2 x^2 (1+\frac{i}{2})^2 (1+\frac{i}{2}) dx = (1+\frac{i}{2})^3 \int\limits_0^2 x^2 dx =$$

$$= (1+\frac{i}{2})^3 \left.\frac{x^3}{3}\right|_9^2 = \frac{8}{3}(1+\frac{i}{2})^3 = \frac{8}{3}(1+\frac{3i}{2}-\frac{3}{4}-\frac{i}{8}) = \frac{2}{3}+\frac{11}{3}i.$$

Получили, что $\int\limits_{OAB} z^2 dz = \int\limits_{OB} z^2 dz$, т. е. интеграл не зависит от пути, соединяющего точки $z=0$ и $z=2+i$, так как $f(z)=z^2$ - аналитическая функция на всей комплексной плоскости.

б) $w = \operatorname{Re} z$, $u+iv = x$, тогда $u = x$, $v = 0$; $\frac{\partial u}{\partial x} = 1$; $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$; $\frac{\partial v}{\partial x} = 0$; $\frac{\partial v}{\partial y} = 0$.

Условие Коши-Римана $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}$ не выполняется ни в одной точке на комплексной плоскости, так как $1 \neq 0$, поэтому $w = \operatorname{Re} z$ не является аналитической на всей комплексной плоскости.

$$\int\limits_{OAB} \operatorname{Re} z dz = 2 + \frac{1}{2} i \qquad \text{(см. пример 2 раздела 8),}$$

$$\int\limits_{OB} \operatorname{Re} z \; dz = \int\limits_0^2 x\,(1+\frac{i}{2})\,dx = (1+\frac{i}{2}) \int\limits_0^2 x\,dx = (1+\frac{i}{2}) \left.\frac{x^2}{2}\right|_0^2 = 2+i.$$

Так как функция $w = \operatorname{Re} z$ не является аналитической, интеграл $\int\limits_{\gamma} \operatorname{Re} z dz$ зависит от пути, соединяющего точки $z=0$ и $z=2+i$.

8.4. Теорема Коши для многосвязной области

Сначала рассмотрим двусвязную область (рис. 2), ограниченную простыми замкнутыми кривыми γ_1 и γ_2, которые не пересекаются, а γ_2 целиком лежит внутри γ_1. Допустим, что $f(z)$ является аналитической в области между контурами и на самих контурах γ_1 и γ_2. Проведём в заданной области разрез по линии AB. Предполагая, что разрез имеет как бы два берега, мы превратим эту область в односвязную. Положительное направление обхода по контуру указано на рисунке. Применим теорему Коши к полученной односвязной области, ограниченной контуром $\Gamma\{AEA + AB + BFB + BA\}$.

$$\int_{\Gamma} f(z)\,dz = 0 \quad \text{или} \quad \oint_{AEA} f(z)\,dz + \int_{AB} f(z)\,dz + \oint_{BFB} f(z)\,dz + \int_{BA} f(z)\,dz = 0.$$

Так как $\int_{AB} f(z)\,dz + \int_{BA} f(z)\,dz = 0$, то $\oint_{\gamma_1} f(z)\,dz = \oint_{\gamma_2} f(z)\,dz.$

Из полученной формулы видно, что интегралы от $f(z)$ по внешнему контуру γ_1 и по внутреннему контуру γ_2, обходимым в одном и том же направлении, равны по величине, но, вообще говоря, не равны нулю, так как $f(z)$ может быть неаналитической внутри области, ограниченной контуром γ_2.

Теперь рассмотрим теорему Коши для $(n+1)$- связной области, которая с помощью системы разрезов может быть сделан односвязной.

Если $f(z)$- аналитическая функция в замкнутой многосвязной области, ограниченной внешним замкнутым контуром γ и замкнутыми контурами γ_1, γ_2,...., γ_n,, лежащими внутри γ, то интеграл от этой функции по внешнему контуру γ равен сумме интегралов по внутренним контурам, причём интегрирование по всем контурам выполняется в одном и том же направлении, то есть

$$\oint_{\gamma} f(z)\,dz = \oint_{\gamma_1} f(z)\,dz + \oint_{\gamma_2} f(z)\,dz + ... + \oint_{\gamma_n} f(z)\,dz.$$

8.5. Вычисление интеграла от аналитической функции

Если функция $f(z)$, аналитическая в односвязной области D, содержащей внутри себя точки z_0 и z, то величина $\int_{z_0}^{z} f(z)\,dz$ не зависит от пути интегрирования, а зависит, лишь от вида подынтегральной функции и точек z_0 и z.

Если точка z_0 зафиксирована, то интеграл $F(z)=\int_{z_0}^{z} f(z)\,dz$ определяет функцию $F(z)$ для каждой выбранной точки $z \in D$. Функция $F(z)$ является аналитической в D и $F'(z)=f(z)$.

Назовём функцию $\Phi(z)$ первообразной для $f(z)$ в области D, если $\Phi(z)$ аналитическая в D и $\Phi'(z)=f(z)$. Тогда $\Phi(z)-F(z)=C$, где C постоянное комплексное число. При $z=z_0$ имеем $\Phi(z_0)-F(z_0)=C$, отсюда $C=\Phi(z_0)$, так как $F(z_0)=0$.

Следовательно, $\int_{z_0}^{z} f(z)dz=\Phi(z)-\Phi(z_0).$

Полученная формула показывает, что значение интеграла от аналитической функции равно приращению какой-либо первообразной для подынтегральной функции на пути интегрирования.

Таким образом, определение первообразной и формула Ньютона-Лейбница для функций действительной переменной и аналитических функций комплексной переменной полностью совпадают. Поэтому интегралы от элементарных функций комплексной переменной вычисляются с помощью тех же формул и правил, что и в обычном анализе.

Пример 1

Вычислить: а) $\int_{\gamma} z^2 dz$ вдоль контура γ, соединяющего точки $z=0$ и $z=2+i$; б) $\int_{\gamma} e^z dz$ по отрезку, соединяющему точки $z=0$ и $z=i$.

Решение

а) Так как $f(z)=z^2$ - аналитическая функция на всей комплексной плоскости, а первообразной для неё является функция. $F(z)=\frac{z^3}{3}$, то

$$\int_{\gamma} z^2 dz = \int_{z=0}^{z=2+i} z^2 dz = \frac{z^3}{3}\Big|_0^{2+i} = \frac{(2+i)^3}{3} = \frac{1}{3}(8+12i-6-i) = \frac{2}{3}+\frac{11}{3}i.$$

Получили тот же результат, что и в примере 8.3.1

б) Так как $f(z)=e^z$ - аналитическая функция на всей комплексной плоскости, а первообразной для неё является функция $F(z)=e^z$, то

$$\int_{\gamma} e^z dz = \int_{z=0}^{z=i} e^z dz = e^z\Big|_0^i = e^i - e^0 = e^i - 1 = \cos 1 + i\sin 1 - 1 = (\cos 1 - 1) + i\sin 1.$$

8.6. Особые точки - полюсы

Точка z_0 называется особой точкой для $f(z)$, если в этой точке нарушается аналитичность функции. Точка z_0 называется изолированной особой точкой, если можно указать такую окрестность точки $z_0 : |z - z_0| < r$, в которой, кроме z_0, других особых точек функции $f(z)$ нет.

Если $\lim\limits_{z \to z_0} f(z) = \infty$, то точка $z = z_0$ называется полюсом функции $f(z)$.

Функция $f(z) = \dfrac{\varphi(z)}{z - z_0}$ имеет в z_0 простой полюс или полюс первого порядка, а функция $g(z) = \dfrac{\varphi(z)}{(z - z_0)^m}$ имеет в z_0 полюс m-го порядка, если $\varphi(z)$ аналитическая функция в точке z_0 и $\varphi(z_0) \neq 0$.

Так для функции $f(z) = \dfrac{z^2 - 1}{z(z-3)(z+1)^4} = \dfrac{z-1}{z(z-3)(z+1)^3}$ точки $z = 0$ и $z = 3$ - простые полюсы, а точка $z = -1$ - полюс третьего порядка.

8.7. Определение вычета

Понятие вычета является одним из важнейших понятий теории функций комплексной переменной в силу большой практической ценности основной теоремы о вычетах, которую мы рассмотрим ниже.

Если $f(z)$ - аналитическая функция в односвязной области D, то $\oint\limits_{\gamma} f(z)\,dz = 0$, где γ - любой замкнутый контур, лежащий целиком в области D. Если же внутри контура γ есть единственная изолированная особая точка функции $f(z)$, то $\oint\limits_{\gamma} f(z)\,dz$, вообще говоря, не равен нулю. Значение этого интеграла, как известно, не зависит от формы контура γ.

Условились величину этого интеграла, делённую на $2\pi i$, называть вычетом функции $f(z)$ относительно особой точки z_0 и обозначать символом

$$res[f(z);z_0]=\frac{1}{2\pi i}\oint_{\gamma} f(z)dz.$$

Здесь при интегрировании обход контура γ идёт против движения часовой стрелки.

8.8. Формулы для вычисления вычетов

1. Если z_0 есть простой полюс функции $f(z)$, то вычет $f(z)$ относительно z_0 равен

$$res[f(z);z_0]=\lim_{z\to z_0}(z-z_0)f(z).$$

2. Если z_0 - простой полюс функции $f(z)$, которая может быть представлена в виде $f(z)=\frac{f_1(z)}{f_2(z)}$, где $f_1(z)$ и $f_2(z)$ - аналитические функции в точке $z=z_0$, причём $z=z_0$ - простой полюс $f_2(z)$, а $f_1(z_0)\neq 0$. Тогда при $f_2'(z_0)\neq 0$

$$res[f(z);z_0]=\frac{f_1(z_0)}{f_2'(z_0)}.$$

3. Если точка $z=z_0$ - полюс порядка n функции $f(z)$, то



здесь вычисляется предел производной $(n-1)$ порядка.

Пример 1

Вычислить вычеты функции $f(z)=\frac{z+2}{(z+1)(z-1)^2}$ относительно всех её особых точек.

Решение

Для заданной функции точка $z=-1$ является простым полюсом, а $z=1$ - полюсом второго порядка.

$$res[f(z);-1]=\lim_{z\to -1}(z+1)\frac{z+2}{(z+1)(z-1)^2}=\lim_{z\to -1}\frac{z+2}{(z-1)^2}=\frac{1}{4};$$

$$res[f(z);1]=\frac{1}{1!}\lim_{z\to 1}((z-1)^2\frac{z+2}{(z+1)(z-1)^2})'=\lim_{z\to 1}(\frac{z+2}{z+1})'=\lim_{z\to 1}\frac{z+1-(z+2)}{(z+1)^2}=-\frac{1}{4}.$$

Пример 2

Найти вычеты в каждой из особых точек функций:

а) $f(z)=\frac{\cos z}{z^3}$; б) $f(z)=\frac{z^2-2}{z^2+z}$; в) $f(z)=\frac{e^z}{z^2+1}$.

Решение

а) Для $f(z)=\frac{\cos z}{z^3}$ точка $z=0$ является полюсом третьего порядка.

$$res[f(z);0]=\frac{1}{(3-1)!}\lim_{z\to 0}(z^3\frac{\cos z}{z^3})''=\frac{1}{2!}\lim_{z\to 0}(\cos z)''=\frac{1}{2}\lim_{z\to 0}(-\sin z)'=\frac{1}{2}\lim_{z\to 0}(-\cos z)=-\frac{1}{2};$$

б) Для функции $f(z)=\frac{z^2-2}{z^2+z}=\frac{z^2-2}{z(z+1)}$ точка $z=0$ является простым полюсом, а $z=-1$ - тоже простым полюсом

$$res[f(z);0]=\lim_{z\to 0}z\frac{(z^2-2)}{z(z+1)}=\lim_{z\to 0}\frac{z^2-2}{z+1}=-\frac{2}{1}=-2;$$

$$res[f(z);-1]=\lim_{z\to -1}(z+1)\frac{(z^2-2)}{z(z+1)}=\lim_{z\to -1}\frac{z^2-2}{z}=\frac{1-2}{-1}=1;$$

в) $z^2+1=0$ при $z=\pm i$. Поэтому точки $z=i$ и $z=-i$ являются простыми полюсами $f(z)=\frac{e^z}{z^2+1}$

$$res[f(z);i]=\lim_{z\to i}(z-i)\frac{e^z}{(z-i)(z+i)}=\lim_{z\to i}\frac{e^z}{z+i}=\frac{e^i}{2i}$$
$$=\frac{(\cos 1+i\sin 1)(-i)}{2i\,(-i)}=\frac{\sin 1-i\cos 1}{2}=\frac{\sin 1}{2}-i\frac{\cos 1}{2};$$

$$res[f(z);-i]=\lim_{z\to -i}(z+i)\frac{e^z}{(z-i)(z+i)}=\lim_{z\to -i}\frac{e^z}{z-i}=\frac{e^{-i}}{-2i}$$
$$=\frac{(\cos 1-i\sin 1)\,i}{2i\,(-i)}=\frac{\sin 1+i\cos 1}{2}=\frac{\sin 1}{2}+i\frac{\cos 1}{2}.$$

8.9. Теорема Коши о вычетах

Теорема

Если функция $f(z)$, аналитическая в односвязной области D, ограниченной контуром γ, всюду, кроме конечного числа особых точек $z_1, z_2, ..., z_n$, лежащих внутри области D (но не на кривой γ), то интеграл от функции $f(z)$ по кривой γ равен произведению $2\pi i$ на сумму вычетов $f(z)$ относительно всех особых точек, лежащих внутри γ, т. е.

$$\oint_{\gamma} f(z)\,dz = 2\pi\, i \sum_{k=1}^{n} res\,[f(z); z_k]\,.$$

Доказательство

Для простоты окружим точки $z_1, z_2, ..., z_n$ окружностями $\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_n$ с центрами в этих точках и радиусами такими малыми, чтобы окружности не пересекались и лежали в области D, ограниченной контуром γ. Тогда функция $f(z)$ будет аналитической в многосвязной области, ограниченной контурами $\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_n$.

По теореме Коши для многосвязной области имеем

$\oint_{\gamma} f(z)\,dz = \oint_{\gamma_1} f(z)\,dz + \oint_{\gamma_2} f(z)\,dz + ... + \oint_{\gamma_n} f(z)\,dz$, но $\oint_{\gamma_k} f(z)\,dz = 2\pi\, i\, res\,[f(z); z_k]\,.$

Тогда

$$\oint_{\gamma_k} f(z)\,dz = 2\pi\, i \sum_{k=1}^{n} res\,[f(z); z_k]\,.$$

Теорема доказана.

Пример 1

Найти значение $\int_{\gamma} \frac{(z+1)}{(z-2)^2}\,dz$, где

а) γ - окружность $|z| = 3$; б) γ - окружность $|z + 2 - i| = 1$.

Решение

Подынтегральная функция имеет единственную особую точку $z = 2$ - полюс второго порядка, которая находится внутри окружности $|z| = 3$ (центр вначале координат, радиус равен 3).

Тогда

$$\oint\limits_{|z|=3} \frac{(z+1)\,dz}{(z-2)^2} = 2\pi\, i\, res[\,f(z);\,2] = 2\pi\, i \frac{1}{1!} \lim_{z\to 2} ((z-2)^2 \frac{(z+1)}{(z-2)^2})' = 2\pi\, i \lim_{z\to 2} (z+i)' = 2\pi\, i\,.$$

б) Окружность $|\,z+2-i\,|=1$ имеет центр в точке $z_0 = -2+i$, радиус 1, а полюс $z=2$ лежит вне этой окружности. Поэтому в области, ограниченной этим контуром γ, функция аналитическая. Тогда по основной теореме Коши

$$\oint\limits_{\gamma} \frac{(z+1)}{(z-2)^2}\,dz = 0\,.$$

Пример 2

Вычислить $\oint\limits_{\gamma} \frac{dz}{(z-i)(z-1)}$, где γ - окружность $x^2+y^2 = 2x+2y$.

Решение

Преобразуем уравнение окружности $x^2+y^2 = 2x+2y$, выделяя полный квадрат по x и по y:

$$(x^2-2x+1)+(y^2-2y+1) = 2 \text{ или } (x-1)^2+(y-1)^2 = 2\,.$$

Точка $(-1;\ 1)$ - центр окружности, радиус - $\sqrt{2}$.

Для подынтегральной функции $f(z) = \frac{1}{(z-i)(z-1)}$ точки $z=i$ и $z=1$ являются простыми полюсами и находятся внутри окружности γ.

Тогда по теореме Коши о вычетах имеем:

$$\oint\limits_{\gamma} \frac{dz}{(z-i)(z-1)} = 2\pi\, i\,(res[\,f(z);\,i] + res[\,f(z);1]\,);$$

$$res[\,f(z);\,i] = \lim_{z\to i} (z-i)\,\frac{1}{(z-i)(z-1)} = \lim_{z\to i} \frac{1}{z-1} = \frac{e^i}{2i} = \frac{1}{i-1} = \frac{-i-1}{(i-1)(-i-1)} = \frac{-1-i}{2} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2}i;$$

$$res[\,f(z);1] = \lim_{z\to 1} (z-1)\,\frac{1}{(z-i)(z-1)} = \lim_{z\to 1} \frac{1}{z-i} = \frac{1}{1-i} = \frac{1+i}{(1-i)(1+i)} = \frac{1+i}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i.$$

Тогда

$$\oint\limits_{\gamma} f(z)\,dz = 2\pi\, i(-\frac{1}{2} - \frac{1}{2}i + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}i) = 0.$$

Пример 3

Вычислить $\oint\limits_{\gamma} \frac{e^{-2z}}{z^2}$, где γ: $\frac{x^2}{9} + \frac{y^2}{4} = 1$.

Решение

Для подынтегральной функции $f(z)=\dfrac{e^{-2z}}{z^2}$ точка $z=0$ является полюсом второго порядка и находится внутри эллипса с полуосями 3 и 2.
По теореме Коши о вычетах

$$\oint_\gamma \frac{e^{-2z}}{z^2}dz = 2\pi\, i res[f(z);0] = 2\pi\, i \lim_{z\to 0}(z^2\frac{e^{-2z}}{z^2})' = 2\pi\, i \lim_{z\to 0}(e^{-2z})' =$$

$$= 2\pi\, i \lim_{z\to 0}(-2)e^{-2z} = 2\pi\, i \quad (-2)\, e^0 = -4\pi\, i.$$

Самостоятельная работа № 7

Вариант 1

1) Вычислить $\int_\gamma \cos z dz$ по отрезку прямой, соединяющему точки $z=i$ и $z=-2+i$.

2) Вычислить $\int_\gamma (4i+3\operatorname{Re} z)dz$, где $\gamma:\ 2x^2-y+3=0$ от $z=3i$ до $z=1+5i$.

Вариант 2

1) Вычислить $\int_\gamma \sin z dz$, где $\gamma:\ x-3y+1=0$ от $z=-1$ до $z=2+i$.

2) Вычислить $\int_\gamma (2i\ Jmz+3)\, dz$, где $\gamma:\ y=2-x^2$ от $z=2i$ до $z=1+i$.

Самостоятельная работа № 8

Вариант 1

1) Вычислить $\int_\gamma (2iz-z^2)dz$, где $\gamma:\ x^2+y^2-x=0$.

2) Найти вычеты в особых точках функции $f(z)=\dfrac{4z}{(z-1)^3(z+2)^2}$.

Вариант 2

1) Вычислить $\int_\gamma e^{z-2i}dz$, где $\gamma:\ |z-2|=2.$

2) Найти вычеты в особых точках функции $f(z)=\dfrac{\sin z}{(z+1)^2(z-i)}$.

Самостоятельная работа № 9

Вариант 1

С помощью вычетов вычислить интеграл $\oint_{\gamma} \frac{e^z}{(z^2-1)^2} dz$, γ: $x^2+4y^2=4$.

Вариант 2

С помощью вычетов вычислить интеграл $\oint_{\gamma} \frac{(3z^2+1)}{(z+2)^2(z-2i)} dz$, $\gamma: |\, z+1-i\,| = 3$.

Самостоятельная работа № 10

1) Вычислить: $(-1-i)^{2i}, \sin(3i+2)$.

2) Найти образ линии $x^2+y^2+x=0$ при отображении $w=3\bar{z}-i$.

3) Является ли аналитической функция $w=z+e^{\bar{z}}$?

4) На комплексной плоскости (z) построить множество точек z, удовлетворяющих условиям:

$$\begin{cases} |\, z+i\,| \le 2, \\ \operatorname{Re} z > -1. \end{cases}$$

5) Вычислить $\int_{\gamma} e^{\bar{z}} dz$ по отрезку прямой, соединяющему точки $z=0$ и $z=2-2i$.

4) С помощью вычетов вычислить интеграл $\oint_{\gamma} \frac{(z^2+3)\,dz}{z^3-1}; \gamma: x^2+y^2=9$.

Самостоятельная работа № 10 содержит набор основных типовых задач по теме изучаемого раздела математики и может быть использована для подготовки к контрольной работе.

С помощью вычетов удается вычислять некоторые определённые интегралы от функций действительной переменной, для чего эти интегралы предварительно преобразуются в интегралы по замкнутому контуру.

9. ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕСОБСТВЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ

С помощью вычетов вычисляют некоторые несобственные интегралы от функции действительной переменной вида $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx$.

Пусть $f(z)$- рациональная функция $f(z)=\frac{P_n(x)}{Q_m(x)}$, а разность степеней знаменателя и числителя $m-n>1, \quad Q_m(x)\neq 0, \quad x\in R$.

Пусть функция $f(z)$, аналитическая на действительной оси, имеет выше действительной оси (в верхней полуплоскости $Jmz > 0$) конечное число особых точек $z_1, z_2,..., z_n$. Тогда существует несобственный интеграл от функции $f(z)$ по промежутку $(-\infty, \infty)$ и

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\,dx = 2\pi\, i \sum_{k=1}^{n} res\,[f(z); z_k].$$

Пример

Вычислить $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2 dx}{(1+x^2)^3}$.

Функция $f(x) = \frac{x^2}{(1+x^2)^3}$.

Решение

Введём функцию комплексной переменной z

$$f(z) = \frac{z^2}{(1+z^2)^3}.$$

Она имеет в верхней полуплоскости $Jmz > 0$ единственную особую точку $z = i$-полюс третьего порядка. Тогда $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2 dx}{(1+x^2)^3} = 2\pi\, i\, res\,[f(z); i].$

Найдем

$$res\,[f(z); i] = \frac{1}{2!} \lim_{z\to i} ((z-i)^3 \frac{z^2}{(z-i)^3(z+i)^3})'' = \frac{1}{2} \lim_{z\to i} (\frac{z^2}{(z+i)^3})'' =$$

$$= \frac{1}{2} \lim_{z\to i} (\frac{2z(z+i)^3 - z^2 3(z+i)^2}{(z+i)^6})' = = \frac{1}{2} \lim_{z\to i} (\frac{2z^2 + 2zi - 3z^2}{(z+i)^4})' = \frac{1}{2} \lim_{z\to i} (\frac{2zi - z^2}{(z+i)^4})' =$$

$$= \frac{1}{2} \lim_{z\to i} \frac{(2i-2z)(z+i)^4 - (2zi - z^2)4(z+i)^3}{(z+i)^8} =$$

$$= \frac{1}{2} \lim_{z\to i} \frac{2z^2 - 2 - 8zi}{(z+i)^5} = \frac{1}{2} \frac{(-2-2+8)}{(2i)^5} = \frac{4}{2\cdot 32i} = \frac{1}{16i} = \frac{-i}{16i\,(-i)} = -\frac{i}{16}.$$

Окончательно получим

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x^2 dx}{(1+x^2)^3} = 2\pi\, i\, (-\frac{i}{16}) = \frac{\pi}{8}.$$

Если функция $f(z)$ удовлетворяет условиям:

1) $f(z) = e^{imz} \cdot F(z)$, где $m > 0$ и $F(z) \to 0$ при $|z| \to \infty$ равномерно по φ для $Jmz \geq 0$;

2) $f(z)$ на действительной оси имеет конечное число простых полюсов $x_1, x_2,..., x_p$;

3) $f(z)$ аналитична в верхней полуплоскости всюду, за исключением конечного числа особых точек $z_1, z_2, ..., z_n$, то

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\,dx = 2\pi\, i\,(\sum_{k=1}^{n} res[\,f(z); z_k\,] + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{p} res[\,f(z); x_k\,]).$$

Пример

Вычислить интеграл Дирихле $\int_0^{\infty} \frac{\sin x}{x}\,dx$.

Решение

Рассмотрим $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{ix}}{x}\,dx$. Введём функцию $f(z) = \frac{e^{iz}}{z}$. Здесь $m = 1, \quad F(z) = \frac{1}{z} \to 0$ при $|\,z\,| \to \infty$. Для $f(z)$ точка $z = 0$ - простой полюс, расположенный на действительной оси. Других особых точек нет.

Тогда

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{ix}}{x}\,dx = 2\pi\, i\,\frac{1}{2}\, res[\,f(z); 0] = \pi\, i \lim_{z\to 0} z\,\frac{e^{iz}}{z} = \pi\, i \lim_{z\to 0} e^{iz} = \pi\, i.$$

Но $e^{ix} = \cos x + i \sin x$, поэтому

$$\int_{-\infty}^{\infty} (\frac{\cos x}{x} + i\frac{\sin x}{x})\,dx = \pi i.$$

В силу определения равенства двух комплексных чисел имеем:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos x}{x}\,dx = 0, \quad \text{а} \quad \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin x}{x}\,dx = \pi.$$

Так как $\frac{\sin x}{x}$ - чётная функция, то $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin x}{x}\,dx = 2\int_0^{\infty} \frac{\sin x}{x}\,dx = \pi$, откуда

$$\int_0^{\infty} \frac{\sin x}{x}\,dx = \frac{\pi}{2}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Араманович, И. Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И. Г. Араманович, Г. Л. Лунц, Л. Э. Эльсгольц. - М.: Наука, 1970. – 380 с.

Волковысский, Л. И. Сборник задач по теории функций комплексного переменного / Л. И. Волковысский, Г. Л. Лунц, И. Г. Араманович. - М.: Наука, 1975. – 220 с.

Евграфов, М. А. Аналитические функции / М. А. Евграфов. - М.: Наука, 1968. – 620 с.

Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. - М.: Наука, 1979. – 410 с.

Маркушевич, А. И. Краткий курс теории аналитических функций / А. И. Маркушевич. - М.: Наука, 1978. – 360 с.

Привалов, И. И. Введение в теорию функций комплексного переменного / И. И. Привалов. - М.: Наука, 1984. – 480 с.

Свешников, А. Г. Теория функций комплексной переменной / А. Г. Свешников, А. Н. Тихонов. - М.: Наука, 1979. – 720 с.

Титчмарш, Е. Теория функций / Е. Титчмарш. - М.: Наука, 1980. – 510 с.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

В. Я. Раевский

ЧИСЛОВЫЕ И СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов
всех специальностейи очного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ЧИСЛОВЫЕ РЯДЫ 6
1.1. Основные понятия 6
1.2. Положительные ряды 14
1.3. Знакочередующиеся ряды 26
1.4. Знакопеременные ряды 29
2. СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ 32
2.1. Функциональные ряды 32
2.2. Степенные ряды – основные понятия 34
2.3. Свойства суммы степенного ряда 40
2.4. Разложение функций в степенные ряды 44
2.5. Разложения элементарных функций в ряды Маклорена 47
3. ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ 52
4. ВАРИАНТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ 53
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 67

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебное пособие содержит основные теоретические сведения (определения, теоремы, формулы) по теме «Числовые и степенные ряды». Основное внимание уделяется многочисленным типовым задачам, решение которых приводится с детальной подробностью. Для проверки и закрепления полученных знаний в пособие включены разделы «Тренировочные задачи» и «Вопросы и задачи для самопроверки».

Работа содержит 30 вариантов наборов задач для самостоятельной работы студентов, которые могут быть использованы для контрольных работ.

Учебное пособие может быть использовано студентами всех специальностей для изучения темы «Числовые и степенные ряды».

1. ЧИСЛОВЫЕ РЯДЫ

1.1. Основные понятия

До появления числовых рядов имела смысл только сумма конечного набора чисел: $a_1 + a_2 + \cdots + a_n$. Когда-то считалось, что складывать бесконечный набор чисел бессмысленно, так как казалось очевидным, что, складывая бесконечно много, например, положительных чисел, должна получаться бесконечная сумма. На этом, казалось бы, верном, утверждении строились многие известные парадоксы (например, «Ахилл и черепаха»). Однако во многих практических задачах и чисто математических построениях возникали суммы бесконечного набора чисел, что привело к необходимости сделать их предметом исследования математики. Приведем пример практической задачи, в которой (в одном из подходов к ее решению) возникает необходимость сложения бесконечного набора чисел.

Пример1. Допустим, что при добыче нефти десятая ее часть идет на обеспечение самой добычи (механизмы, обеспечивающие добычу, работают на бензине, который производится из той же нефти). Сколько необходимо добыть нефти, чтобы можно было продать 10 тонн?

Решение. Ясно, что нужно добыть, по крайней мере, эти 10 тонн. Но тогда нужно добавочно добыть $10 \cdot 0.1 = 1$ тонну для обеспечения добычи этих 10 тонн. Но для обеспечения добычи этой 1 тонны необходимо добавочно добыть $1 \cdot 0.1 = 0.1$ тонны. Но для обеспечения ее добычи нужно еще добыть $0.1 \cdot 0.1 = 0.01$тонны. И так далее. Таким образом, общее количество добытой нефти должно быть равно

$$10 + 1 + 0.1 + 0.01 + 0.001 + \cdots \qquad (1)$$

Таким образом, при таком подходе к решению возникла необходимость сложить бесконечный набор чисел.

Замечание. Конечно, предложенный выше подход к решению примера имеет чисто иллюстративную цель (естественное появление бесконечной суммы), поскольку очевиден следующий более простой путь решения. Пусть x − необходимое количество нефти, которое нужно добыть, чтобы на продажу иметь 10 тонн. Тогда $0.1\cdot x$ тонн из добытого пойдет на обеспечение самой добычи. Таким образом, продать можно будет только $x-0.1\cdot x$ тонн. Откуда получаем уравнение : $x-0.1\cdot x=10$, откуда $x=\frac{10}{0.9}=11.1111\ldots$ тонн.

Приступим все же к понятию бесконечных сумм. Выражение вида

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \ldots \qquad (2)$$

называется *числовым рядом.* Числа $a_1, a_2, , a_3, \ldots$ называются *членами (или слагаемыми) ряда.* Выражение для a_n под знаком суммы в (2), позволяющее найти любое слагаемое по его порядковому номеру n, называется *общим членом* ряда. При подстановке в это выражение $n=1,2,3,\ldots$ получаем значения, соответственно, *1*-го слагаемого, *2*-го, *3*-го ... . Например, ряд (1) можно с использованием знака суммы записать в виде $\sum_{n=1}^{\infty} 10\cdot 0.1^{n-1}$, а потому общий член этого ряда имеет вид: $a_n = 10\cdot 0.1^{n-1}$. Действительно, подставляя в это выражение *n=1, 2, 3, ...* получаем значения, соответственно, *1*-го слагаемого, *2*-го, *3*-го и т.д. слагаемого ряда (1).

Пример 2. Рассмотрим ряд $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\ldots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}$ − так называемый *гармонический* ряд. Числа $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ … являются членами ряда, а выражение $a_n=\frac{1}{n}$ является общим членом ряда.

Как же определить сумму ряда $\sum_{n=1}^{\infty} a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \dots$, т.е. сумму бесконечного набора слагаемых? Можно воспользоваться тем, что мы умеем складывать любой конечный набор чисел, и попытаемся исчерпать указанную бесконечность «постепенно». Сначала составим «сумму» из одного первого слагаемого: $S_1 = a_1$. Потом сложим первые 2 слагаемых: $S_2 = a_1 + a_2$. Потом первые 3 слагаемых: $S_3 = a_1 + a_2 + a_3$, и так далее. И будем следить за поведением бесконечной последовательности чисел $S_1, S_2, S_3, \dots$, которые представляют собой суммы все большего числа слагаемых исходного ряда. Если эта последовательность сумм все увеличивающегося числа слагаемых ряда (2) приближается к определенному числу (т.е. имеет предел), то это число естественно назвать суммой всего ряда. Если же эта последовательность не приближается ни к какому числу (или идет к бесконечности), то естественно считать, что такой ряд суммы не имеет. Число $S_n = a_1 + a_2 + \dots + a_n$ называется *n-ой частичной суммой ряда* $(n = 1, 2, 3, \dots)$. Итак, ряд $\sum_{n=1}^{\infty} a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \dots$ называется *сходящимся,* если существует (конечный) предел его частичных сумм: $\lim_{n\to\infty} S_n = S$. В этом случае число *S* называется *суммой* ряда, что записывается как $\sum_{n=1}^{\infty} a_n = S$. Если же такого предела не существует (или он равен ∞), то ряд называется *расходящимся* (такой ряд суммы не имеет).

Пример 3. Исследуем на сходимость следующий ряд

$$\frac{1}{1\cdot 2} + \frac{1}{2\cdot 3} + \frac{1}{3\cdot 4} + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\cdot(n+1)}. \qquad (3)$$

Решение. Вычислим несколько первых последовательных частичных сумм и попробуем найти закономерность:

$$S_1 = \frac{1}{1\cdot 2} = \frac{1}{2}, \quad S_2 = \frac{1}{1\cdot 2} + \frac{1}{2\cdot 3} = \frac{2}{3}, \quad S_3 = \frac{1}{1\cdot 2} + \frac{1}{2\cdot 3} + \frac{1}{3\cdot 4} = \frac{3}{4}, \dots \qquad (4)$$

Легко, глядя на (4), угадать общую формулу для частичных сумм: $S_n = \frac{n}{n+1}$ (можно доказать эту формулу строго методом математической индукции). Тогда

$$\lim_{n\to\infty} S_n = \lim_{n\to\infty} \frac{n}{n+1} = \left[\frac{\infty}{\infty}\right] = \{\text{делим числитель и знаменатель на } n\} = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{1+\frac{1}{n}} = 1.$$

Поэтому по приведенному выше определению данный ряд (3) сходится, а его сумма равна 1: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\cdot(n+1)} = 1$.

Пример 4. Пусть число $a \neq 0$. Рассмотрим ряд

$$a - a + a - a + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \cdot a. \qquad (5)$$

Тогда $S_1 = a$, $S_2 = 0$, $S_3 = a$, $S_4 = 0$, $S_5 = a$ и так далее. Понятно, что такая последовательность частичных сумм $a, 0, a, 0, a, 0, \ldots$ предела не имеет, поэтому ряд (5) расходится.

Пример 5. Геометрическая прогрессия. Напомним, что геометрической прогрессией называется числовая последовательность, каждый член которой (начиная со второго) равен предыдущему, умноженному на одно и то же для этой последовательности число q (которое называется *знаменателем* данной прогрессии). Если обозначить буквой a первый член прогрессии, то прогрессия (по определению) имеет вид: $a, aq, aq^2, \ldots, aq^n, \ldots$. Соответствующий ряд имеет вид $a + aq + aq^2 + \cdots + aq^n + \cdots = \sum_{n=1}^{\infty} a\cdot q^{n-1}$ (или $\sum_{n=0}^{\infty} a\cdot q^n$, если начать нумерацию слагаемых не с единицы, а с нуля). Отметим сразу, что если знаменатель прогрессии $q = 1$, то соответствующий ряд $\sum_{n=1}^{\infty} a = a + a + a + \cdots$ (при $a \neq 0$)

расходится, поскольку его частичные суммы имеют вид $S_n = a + a + a + \cdots + a = n \cdot a$, а потому $\lim\limits_{n\to\infty} S_n = \lim\limits_{n\to\infty}(n \cdot a) = a \cdot \lim\limits_{n\to\infty} n = \pm\infty$ в зависимости от знака числа a. Для $q \neq 1$ из школьной программы известна общая формула для суммы первых n слагаемых геометрической прогрессии $S_n = a + a \cdot q + a \cdot q^2 + \cdots + a \cdot q^n = \dfrac{a \cdot (1 - q^n)}{1 - q}$. Поэтому, переходя к пределу $\lim\limits_{n\to\infty} S_n$, легко получить:

$$\lim_{n\to\infty} S_n = \lim_{n\to\infty} \frac{a \cdot (1 - q^n)}{1 - q} = \frac{a}{1 - q} \cdot \lim_{n\to\infty}(1 - q^n) = \frac{a}{1 - q} \cdot \left(1 - \lim_{n\to\infty} q^n\right).$$

Несложно выяснить, что предел $\lim\limits_{n\to\infty} q^n$ существует (и при этом равен нулю) только в том случае, если $|q| < 1$. Отсюда следует, что ряд, составленный из геометрической прогрессии, сходится (и имеет суммой число $S = \dfrac{a}{1 - q}$) только тогда, когда $|q| < 1$. В этом случае (когда $|q| < 1$) геометрическая прогрессия называется *бесконечно убывающей геометрической прогрессией* и для нее

$$a + a \cdot q + a \cdot q^2 + \cdots + a \cdot q^n + \cdots = \sum_{n=1}^{\infty} a \cdot q^{n-1} = \frac{a}{1 - q}. \qquad (6)$$

Заметим, что ряд (1) тоже является бесконечно убывающей геометрической прогрессией с $a = 10$ и $q = 0.1$, а потому из (6) получаем для примера 1, что необходимо добыть $\dfrac{10}{1 - 0.1} = \dfrac{10}{0.9} = 11.111111\ldots$ тонн нефти, что выше было получено из простого алгебраического уравнения.

Рассмотрим *свойства сходящихся рядов.* Они напоминают свойства конечных сумм.

1. Если сходится ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n$, то для любого числа c сходится ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} c \cdot a_n$ и выполнено:

$$\sum_{n=1}^{\infty} c \cdot a_n = c \cdot \sum_{n=1}^{\infty} a_n \,. \qquad (7)$$

Фактически это означает возможность вынесения общего множителя c в сумме за скобку (точнее, за знак суммы).

2. Если сходятся ряды $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ и $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$, то сходится и ряд $\sum_{n=1}^{\infty} (a_n \pm b_n)$ и выполняется:

$$\sum_{n=1}^{\infty} (a_n \pm b_n) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \pm \sum_{n=1}^{\infty} b_n \,. \qquad (8)$$

Справедливость этих свойств легко доказывается из определения сходящихся рядов и соответствующих свойств пределов последовательностей (предел суммы-разности равен сумме-разности пределов, а постоянный множитель можно выносить за знак предела).

Пример 6. Вычислить сумму ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{3}{2^n} - \frac{4}{n(n+1)} \right)$.

Решение. Используя свойство (8), а затем (7), последовательно получаем:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{3}{2^n} - \frac{4}{n(n+1)} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{3}{2^n} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{n(n+1)} = 3 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} - 4 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)} \,.$$

Ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \cdots$ есть сумма бесконечно убывающей геометрической прогрессии вида (6) с первым членом $a = \frac{1}{2}$ и знаменателем $q = \frac{1}{2}$, а потому по формуле (6): $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} = 1$. Сумма ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n \cdot (n+1)}$ была вычислена в примере 3: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n \cdot (n+1)} = 1$. Окончательно получаем: $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{3}{2^n} - \frac{4}{n(n+1)} \right) = 3 \cdot 1 - 4 \cdot 1 = -1$.

Далее мы сосредоточим свое внимание на вопросе о том, как по виду ряда

(2) определить, является ли он сходящимся или расходящимся.

Теорема (необходимый признак сходимости ряда). Если ряд $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ сходится, то его общий член стремится к нулю: $\lim_{n\to\infty} a_n = 0$.

Доказательство. Пусть ряд $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ сходится, а число S является его суммой. Тогда по определению сходящегося ряда предел последовательности его частичных сумм $\{S_n\}_{n=1}^{\infty} = \{S_1, S_2, \ldots, S_n, \ldots\}$ равен S:

$$\lim_{n\to\infty} S_n = S, \tag{9}$$

где

$$S_n = a_1 + a_2 + \cdots + a_n. \tag{10}$$

Рассмотрим теперь вспомогательную последовательность $\{\bar{S}_n\}_{n=1}^{\infty}$, построенную из последовательности $\{S_1, S_2, \ldots, S_n, \ldots\}$ добавлением числа 0 в качестве ее первого члена: $\{\bar{S}_n\}_{n=1}^{\infty} = \{\bar{S}_1, \bar{S}_2, \ldots, \bar{S}_n, \ldots\} = \{0, S_1, S_2, \ldots, S_n, \ldots\}$. Таким образом, $\bar{S}_1 = 0$, $\bar{S}_2 = S_1$, $\bar{S}_3 = S_2$ и вообще

$$\bar{S}_n = S_{n-1} \quad , \; n = 2,3,\ldots \quad . \tag{11}$$

Из (11) и (10) следует, что, начиная с $n = 2$:

$$S_n - \bar{S}_n = S_n - S_{n-1} = (a_1 + a_2 + \cdots + a_{n-1} + a_n) - (a_1 + \cdots + a_{n-1}) = a_n.$$

Ясно, что такое соотношение выполняется и для $n = 1$: $S_1 - \bar{S}_1 = a_1 - 0 = a_1$. Таким образом, для всех $n = 1,2,\ldots$ выполнено

$$a_n = S_n - \bar{S}_n. \tag{12}$$

Поскольку последовательность чисел $\{\bar{S}_n\}_{n=1}^{\infty} = \{0, S_1, S_2, \ldots, S_n, \ldots\}$, а из (9) последовательность $\{S_n\}_{n=1}^{\infty} = \{S_1, S_2, \ldots, S_n, \ldots\}$ имеет пределом число S, то это же число будет являться и пределом последовательности $\{\bar{S}_n\}_{n=1}^{\infty}$:

$$\lim_{n\to\infty} \bar{S}_n = S. \qquad (13)$$

Тогда из (12), (9), (13) и свойств пределов вытекает:

$$\lim_{n\to\infty} a_n = \lim_{n\to\infty}\left(S_n - \bar{S}_n\right) = \lim_{n\to\infty} S_n - \lim_{n\to\infty} \bar{S}_n = S - S = 0,$$

что и требовалось доказать.

Из этой теоремы вытекает важное

Следствие (признак расходимости ряда). Если предел $\lim\limits_{n\to\infty} a_n$ общего члена ряда при $n \to \infty$ либо не существует, либо существует, но $\lim\limits_{n\to\infty} a_n \neq 0$, то ряд $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n$ расходится.

Таким образом, при выяснении вопроса о сходимости некоторого ряда $\sum\limits_{n=1}^{\infty} a_n$ следует (если это не сложно) проверить прежде всего выполнение необходимого условия сходимости : $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = 0$. Если оно не выполняется, то сразу можно сказать, что ряд расходится. А вот если выполняется, то без дополнительного исследования ничего о сходимости сказать нельзя и вопрос о сходимости-расходимости остается открытым. Стремление к нулю общего члена ряда является лишь необходимым условием сходимости. Например, ниже будет показано, что гармонический ряд $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \ldots = \sum\limits_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$ оказывается расходящимся, однако нет сомнений в том, что для него $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = \lim\limits_{n\to\infty} \frac{1}{n} = 0$. Таким образом, для сходимости ряда нужно, чтобы слагаемые не просто

стремились к нулю, а делали бы это «достаточно быстро».

Пример 7. Исследовать сходимость ряда $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n}{100000\cdot n+1}$.

Решение. Общий член этого ряда $a_n=\frac{n}{100000n+1}$. Тогда $\lim\limits_{n\to\infty}a_n=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n}{100000n+1}=\left[\frac{\infty}{\infty}\right]=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{1}{100000+\frac{1}{n}}=\frac{1}{100000}\neq 0$. Поэтому, по приведенному выше следствию, исследуемый ряд расходится.

Большинство признаков сходимости рядов относятся к так называемым положительным рядам (члены которых неотрицательны).

1.2. Положительные ряды

Ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty}a_n=a_1+a_2+a_3+\ldots \qquad (1)$$

называется *положительным,* если все его члены неотрицательны: $a_1\geq 0, a_2\geq 0,\ldots$. Сначала изучим так называемые признаки сравнения, которые требуют для исследования сходимости данного ряда строить некоторый вспомогательный ряд. Ниже сформулировано соответствующее утверждение, смысл которого достаточно прозрачен.

Теорема (признак сравнения рядов). Пусть имеется два положительных ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}a_n \quad , \qquad (2)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} b_n \,, \tag{3}$$

причем члены ряда (2) не превосходят соответствующих членов ряда (3):

$$a_n \le b_n \tag{4}$$

хотя бы начиная *с некоторого* номера n. Тогда

1) Если *сходится* ряд с большими членами (3), то *сходится* и ряд с меньшими членами (2).

2) Если *расходится* ряд с меньшими членами (2), то *расходится* и ряд с большими (3).

Рассмотрим примеры применения признака сравнения.

Пример 1. Доказать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n+1)^2}. \tag{5}$$

Решение. Ряд (5) сравним с рядом $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\,(n+1)}$, сходимость которого была доказана в предыдущем параграфе. В нашем примере ряд (2) имеет вид исследуемого ряда $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n+1)^2}$ (а потому $a_n = \frac{1}{(n+1)^2}$), а ряд для сравнения (3) имеет вид $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\,(n+1)}$ (а потому $b_n = \frac{1}{n(n+1)}$). Установим выполнение условия (4) для любого номера n: $a_n = \frac{1}{(n+1)^2} = \frac{1}{(n+1)\cdot(n+1)} \le \frac{1}{n\cdot(n+1)} = b_n$. Тогда по первому утверждению признака сравнения рядов исходный ряд (5) сходится.

Основные недостатки при практическом применении приведенного признака сравнения − это

- необходимость правильного подбора вспомогательного ряда, сходимость или расходимость которого известна;

- необходимость доказательства соответствующего неравенства между членами исследуемого и вспомогательного рядов.

Второго из этих недостатков лишен *признак сравнения в предельной форме*.

Теорема (признак сравнения в предельной форме). Пусть имеются два положительных ряда $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ и $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$ (ряды (2) и (3)), для которых выполняется:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{a_n}{b_n} = c, \text{ причем } c \neq 0 \text{ и } c \neq \infty. \qquad (6)$$

Тогда оба ряда сходятся или расходятся одновременно, т.е. если мы знаем о сходимости или расходимости одного из рядов (например, ряда (3)), то тот же вывод можно сделать и о втором ряде (ряде (2)).

Для применения признаков сравнения необходимо иметь так называемые *эталонные* ряды, про которые известно, сходятся они или расходятся, чтобы сравнивать с ними исследуемые ряды. Чаще всего в качестве таких рядов выступает геометрическая прогрессия, а также ряды вида

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{\alpha}} = 1 + \frac{1}{2^{\alpha}} + \frac{1}{3^{\alpha}} + \ldots, \qquad (7)$$

про которые известно, что они сходятся при $\alpha > 1$ и расходятся при $\alpha \leq 1$ (это будет доказано ниже в примере 8). В частности, гармонический ряд $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$ расходится (это ряд вида (7) при $\alpha = 1$). Самый важный этап применения признаков сравнения – это правильный выбор эталонных вспомогательных рядов для сравнения с исследуемым рядом. При этом надо обеспечить либо нужное неравенство между слагаемыми двух рядов, либо обеспечить выполнение условия (6). Например, если мы хотим в качестве ряда сравнения выбрать ряд вида (7), то надо правильно выбрать значение параметра

α в (7), чтобы обеспечить выполнение условия (6). При неправильном выборе значения этого параметра значение c этого предела в (6) как раз и оказывается равным либо нулю, либо бесконечности, при которых предельный признак сравнения не работает. Ниже приводится один из возможных приемов выбора правильного значения параметра α при использовании для сравнения эталонного ряда вида (7).

Пример 2. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{3n^3+5n-7}{n^3(n+1)} \ . \tag{8}$$

Решение. Для ряда (8) подберем для сравнения вспомогательный ряд вида (7) с таким значением параметра α, при которым окажется выполненным соотношение (6). В нашем примере ряд (2) есть исследуемый ряд (8), а ряд (3) есть ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{\alpha}}$, а потому общие члены этих рядов $a_n = \frac{3n^3+5n-7}{n^3(n+1)}$, $b_n = \frac{1}{n^{\alpha}}$. Для выбора подходящего значения параметра α оценим поведение a_n, оставляя в числителе и знаменателе только старшие степени n, которые и определяют скорости роста числителя и знаменателя с ростом n. Далее значок $\sim$ можно перевести как «при $n \to \infty$ ведет себя так же, как». Итак,

$$a_n = \frac{3n^3+5n-7}{n^3(n+1)} = \frac{3n^3+5n-7}{n^4+n^3} \ \sim \ \frac{n^3}{n^4} = \frac{1}{n}.$$

Поэтому если взять $b_n = \frac{1}{n}$, то окажется $a_n \ \sim \ b_n$, что обеспечит в дальнейшем выполнение условия (6). Поэтому проведем сравнение (в предельной форме) ряда (8) с гармоническим рядом $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n}$, который, является рядом вида (7) при $\alpha = 1$, а потому расходится. Для проверки выполнения условия (6) вычислим предел:

$$\lim_{n\to\infty}\frac{a_n}{b_n}=\lim_{n\to\infty}\frac{\frac{3n^3+5n-7}{n^3(n+1)}}{\frac{1}{n}}=\lim_{n\to\infty}\frac{3n^4+5n^2-7n}{n^4+n^3}=\left[\frac{\infty}{\infty}\right]=$$ {делим числитель и знаменатель на n^4} $$=\lim_{n\to\infty}\frac{3+\frac{5}{n^2}-\frac{7}{n^3}}{1+\frac{1}{n}}=3.$$ Поскольку число 3 – это не 0 и не ∞, то по признаку сравнения в предельной форме ряд (8) ведет себя (в смысле сходимости-расходимости) так же, как и гармонический. Но гармонический ряд – расходится, следовательно, ряд (8) тоже расходится.

Пример 3. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n}{\sqrt{n^5+n+1}}\ . \qquad (9)$$

Решение. Опять сравним (в предельной форме) ряд (9) с рядом вида (7) с подходящим значением параметра α. Для его выбора опять оценим поведение общего члена $a_n=\frac{n}{\sqrt{n^5+n+1}}$, оставляя в числителе и знаменателе только старшие степени n:

$$a_n=\frac{n}{\sqrt{n^5+n+1}}\ \sim\ \frac{n}{\sqrt{n^5}}=\frac{n}{n^{\frac{5}{2}}}=\frac{1}{n^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{\sqrt{n^3}}=b_n.$$

Поэтому сравним (в предельной форме) ряд (9) с рядом $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{n^3}}=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{\frac{3}{2}}}$. Этот ряд сходится, так как это ряд вида (7) при $\alpha=\frac{3}{2}>1$. В нашем примере ряд (2) есть ряд (9) (а потому $a_n=\frac{n}{\sqrt{n^5+n+1}}$), а ряд (3) есть сходящийся ряд $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{n^3}}$ (а потому $b_n=\frac{1}{\sqrt{n^3}}$). Вычислим предел (6):

$$\lim_{n\to\infty}\frac{a_n}{b_n}=\lim_{n\to\infty}\frac{n}{\frac{\sqrt{n^5+n+1}}{\sqrt{n^3}}}=\lim_{n\to\infty}\frac{n\cdot\sqrt{n^3}}{\sqrt{n^5+n+1}}=\lim_{n\to\infty}\frac{\sqrt{n^5}}{\sqrt{n^5+n+1}}=\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{n^5}{n^5+n+1}}=\left[\frac{\infty}{\infty}\right]=$$

{делим числитель и знаменатель на n^5}$=\lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{1+\frac{1}{n^4}+\frac{1}{n^5}}}=1$. Поскольку число 1 – это не 0 и не ∞, то по признаку сравнения в предельной форме ряд (9) ведет себя так же, как и сходящийся ряд $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\sqrt{n^3}}$. Поэтому ряд (9) тоже сходится.

Перейдем к другой группе признаков сходимости-расходимости положительных рядов. Их преимущество состоит в том, что для их применения не надо строить вспомогательные ряды, как это необходимо при применении признаков сравнения рядов.

Теорема (признак Даламбера). Пусть для положительного ряда $\sum_{n=1}^{\infty}a_n$ существует предел

$$\lim_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n}=l. \qquad (10)$$

Тогда при $l>1$ ряд расходится, а при $l<1$ сходится.

В выражении (10): a_n – общий член исследуемого ряда, а выражение для a_{n+1} получается из выражения для a_n заменой в нем n на $(n+1)$. Доказательство признака Даламбера построено на сравнении ряда $\sum_{n=1}^{\infty}a_n$ со специально построенной сходящейся (в случае $l<1$) или расходящейся (в случае $l>1$) геометрической прогрессией. Оно достаточно формализовано, а потому мы его опускаем.

Большим недостатком признака Даламбера является то, что он не отвечает на вопрос о сходимости-расходимости в случае $l=1$ (что встречается достаточно часто) и тогда требуется дополнительное исследование. Например, такая ситуация возникает при исследовании гармонического ряда, да и вообще рядов вида $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{\alpha}}=1+\frac{1}{2^{\alpha}}+\frac{1}{3^{\alpha}}+\ldots$, сходимость которых в зависимости от значения параметра α обсуждалась выше.

Пример 4. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2^{2n+1}}{n\cdot 3^{n}}\ . \qquad (11)$$

Решение. Общий член ряда (11) имеет вид $a_n=\frac{2^{2n+1}}{n\cdot 3^{n}}$. Тогда выражение для a_{n+1} имеет вид: $a_{n+1}=\frac{2^{2\cdot(n+1)+1}}{(n+1)\cdot 3^{n+1}}=\frac{2^{2n+3}}{(n+1)\cdot 3^{n+1}}$. Тогда их отношение $\frac{a_{n+1}}{a_n}$ равно : $\frac{a_{n+1}}{a_n}=\frac{2^{2n+3}}{(n+1)\cdot 3^{n+1}}:\frac{2^{2n+1}}{n\cdot 3^{n}}=\frac{2^{2n+3}\cdot n\cdot 3^{n}}{2^{2n+1}\cdot(n+1)\cdot 3^{n+1}}=$\{при делении степеней с одинаковым основанием показатели вычитаются\}$=\frac{2^{2}\cdot n}{(n+1)\cdot 3}=\frac{4n}{3n+3}$. Вычисляем предел (10):

$\lim\limits_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n}=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{4n}{3n+3}=\left[\frac{\infty}{\infty}\right]=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{4}{3+\frac{3}{n}}=\frac{4}{3}$. Итак, в (10) $l=\frac{4}{3}>1$, а потому по признаку Даламбера ряд (11) расходится.

Для дальнейших примеров напомним понятие *факториала* числа. Пусть n − натуральное число (т.е. целое положительное). Тогда *факториалом* этого числа (обозначается $n!$) называется произведение всех целых чисел от 1 до этого числа n :

$$n!=1\cdot 2\cdot 3\cdot\ldots\cdot n\ .$$

Например, $1!=1$, $2!=1\cdot 2=2$, $5!=1\cdot 2\cdot 3\cdot 4\cdot 5=120$. Факториалом числа ноль

называется число 1: $0!=1$.

Пример 5. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2^{2n}}{(n+1)!} \quad . \tag{12}$$

Решение. Общий член ряда (12) имеет вид $a_n=\frac{2^{2n}}{(n+1)!}$. Тогда выражение для a_{n+1} имеет вид: $a_{n+1}=\frac{2^{2\cdot(n+1)}}{(n+2)!}=\frac{2^{2n+2}}{(n+2)!}$. Тогда их отношение $\frac{a_{n+1}}{a_n}$ равно :

$$\frac{a_{n+1}}{a_n}=\frac{2^{2n+2}}{(n+2)!}:\frac{2^{2n}}{(n+1)!}=\frac{2^{2n+2}\cdot(n+1)!}{2^{2n\backslash}\cdot(n+2)!}=\frac{2^{2n+2}}{2^{2n}}\cdot\frac{(n+1)!}{(n+2)!}=4\cdot\frac{1\cdot2\cdot\dots\cdot(n+1)}{1\cdot2\cdot\dots\cdot(n+1)\cdot(n+2)}=$$

=$\{$сокращаем в числителе и знаменателе $1\cdot2\cdot\dots\cdot(n+1)\}=\frac{4}{n+2}$. Вычисляем предел (10): $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n}=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{4}{n+2}=0$. Итак, в (10) $l=0<1$, а потому по признаку Даламбера ряд (12) сходится.

Признак Даламбера удобно использовать для выяснения сходимости таких рядов, общие члены которых содержат степени (с постоянным основанием) и факториалы. В этом случае в выражении $\frac{a_{n+1}}{a_n}$ многое сокращается (как это было видно на примерах), а само выражение оказывается достаточно простым для последующего вычисления предела $\lim\limits_{n\to\infty}\frac{a_{n+1}}{a_n}$. В некоторых других случаях удобно использовать следующий ниже признак.

Теорема (радикальный признак Коши). Пусть для положительного ряда $\sum\limits_{n=1}^{\infty}a_n$ существует предел

$$\lim_{n\to\infty}\sqrt[n]{a_n}=l\,. \tag{13}$$

Тогда при $l>1$ ряд расходится, а при $l<1$ сходится.

Аналогичным недостатком этого признака является то, что он не отвечает на вопрос о сходимости в случае $l=1$ и тогда требуется дополнительное исследование.

Пример 6. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{n}{2n+1}\right)^n. \qquad (14)$$

Решение. Общий член ряда (14) имеет вид $a_n=\left(\frac{n}{2n+1}\right)^n$. Вычислим предел (13):

$\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{a_n}=\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{\left(\frac{n}{2n+1}\right)^n}=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{n}{2n+1}=\left[\frac{\infty}{\infty}\right]=\lim\limits_{n\to\infty}\frac{1}{2+\frac{1}{n}}=\frac{1}{2}$. Итак, для предела (13) получилось $l=\frac{1}{2}<1$, а потому по радикальному признаку Коши ряд (14) сходится.

Пример 7. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\left(\frac{n+1}{n}\right)^{n^2}}{2^n}. \qquad (15)$$

Решение. Общий член ряда (15) имеет вид $a_n=\frac{\left(\frac{n+1}{n}\right)^{n^2}}{2^n}$. Вычислим предел (13):

$\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{a_n}=\lim\limits_{n\to\infty}\sqrt[n]{\frac{\left(\frac{n+1}{n}\right)^{n^2}}{2^n}}=\{$извлекаем корень из числителя и знаменателя$\}=$

$= \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{\left(\dfrac{n+1}{n}\right)^n}{2} = \dfrac{1}{2}\cdot \lim\limits_{n\to\infty}\left(1+\dfrac{1}{n}\right)^n = \{$полученный предел представляет собой как раз второй замечательный предел, определяющий знаменитое число $e = 2.718281828..\}= \dfrac{1}{2}\cdot e = \dfrac{e}{2}$ Итак, для предела (13) получилось $l = \dfrac{e}{2} > 1$, а потому по радикальному признаку Коши ряд (15) расходится.

Признак Коши удобно использовать для выяснения сходимости таких рядов, общий член которых a_n является n-ой степенью некоторого несложного выражения. В этом случае в выражении $\sqrt[n]{a_n}$ корень и степень «сокращаются», а полученное выражение оказывается достаточно простым для последующего вычисления предела (13). В некоторых более сложных случаях удобно использовать следующий ниже признак.

Теорема (интегральный признак Коши). Пусть для положительного ряда $\sum\limits_{n=m}^{\infty} a_n$ (индекс суммирования n может начинаться с любого целого числа m) существует такая положительная непрерывная и убывающая на $[m,+\infty)$ функция $f(x)$, что $a_n = f(n)$. Тогда для сходимости этого ряда необходимо и достаточно, чтобы сходился несобственный интеграл $\int\limits_m^{+\infty} f(x)\,dx$.

Для применения этого признака функция $f(x)$, фигурирующая в теореме, может быть построена следующим образом: в выражении для общего члена ряда a_n букву n заменяют на x.

Только этот признак из приведенных выше сможет ответить на вопрос о сходимости гармонического ряда и вообще рядов вида (7), что видно из следующего примера.

Пример 8. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{\alpha}}=1+\frac{1}{2^{\alpha}}+\frac{1}{3^{\alpha}}+\dots \qquad (16)$$

в зависимости от величины параметра α.

Решение. Если $\alpha<0$, то общий член ряда $a_n=\dfrac{1}{n^{\alpha}}$ не стремится к нулю (он будет даже стремиться к бесконечности), а потому по сформулированному в предыдущем параграфе признаку расходимости ряда этот ряд расходится. Рассмотрим теперь числа $\alpha\geq 0$. Общий член ряда (16) имеет вид $a_n=\dfrac{1}{n^{\alpha}}$. Заменяя в этом выражении n на x, получим функцию $f(x)=\dfrac{1}{x^{\alpha}}$, для которой, очевидно, выполнено: $f(n)=a_n$. Проверим для нее выполнение условий интегрального признака Коши: функция $f(x)=\dfrac{1}{x^{\alpha}}$ должна быть положительной, непрерывной и убывающей на $[1,+\infty)$. Очевидно, все эти свойства выполняются в рассматриваемом случае $\alpha\geq 0$. Поэтому по интегральному признаку Коши сходимость ряда (16) совпадает со сходимостью несобственного интеграла $\int_1^{+\infty}\dfrac{dx}{x^{\alpha}}$. Как известно, этот интеграл сходится для всех $\alpha>1$ и расходится для $\alpha\leq 1$. Таким образом, как это и утверждалось выше, ряд вида (16) сходится для всех $\alpha>1$ и расходится для $\alpha\leq 1$.

Пример 9. Исследовать сходимость ряда

$$\sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n\cdot\ln n}\quad . \qquad (17)$$

Решение. Суммирование начато с $n=2$, поскольку при $n=1$ общий член ряда $a_n=\dfrac{1}{n\cdot\ln n}$ не определён (деление на $\ln 1=0$). Общий член ряда (17) имеет

вид $a_n = \frac{1}{n \cdot \ln n}$. Заменяя в этом выражении n на x, получим функцию $f(x) = \frac{1}{x \cdot \ln x}$, для которой, очевидно, выполнено: $f(n) = a_n$. Далее, очевидно, что эта функция положительна, непрерывна и является убывающей на $[2,+\infty)$ (последнее следует из очевидного факта, что функция $x \cdot \ln x$ положительная и возрастающая). Поэтому по интегральному признаку Коши сходимость ряда (17) совпадает со сходимостью несобственного интеграла $\int_2^{+\infty} \frac{dx}{x \cdot \ln x}$. Исследуем этот интеграл на сходимость. Сходимость этого несобственного интеграла (по определению сходимости) зависит от того, будет ли существовать конечный предел

$$\lim_{b \to +\infty} \int_2^b \frac{dx}{x \cdot \ln x} \ . \qquad (18)$$

Вычислим значение интеграла под знаком предела методом замены переменной:

$$\int_2^b \frac{dx}{x \cdot \ln x} = \left[\begin{array}{c} t = \ln x \\ dt = d(\ln x) = (\ln x)' dx = \frac{1}{x} dx \Rightarrow \frac{dx}{x} = dt \\ \textit{нижний предел по переменной } t = \ln 2 \\ \textit{верхний предел по переменной } t = \ln b \end{array} \right] = \int_{\ln 2}^{\ln b} \frac{dt}{t} = \ln |t| \Big|_{\ln 2}^{\ln b} = \ln(\ln b) - \ln(\ln 2).$$

Таким образом, предел в (18): $\lim_{b \to +\infty} \int_2^b \frac{dx}{x \cdot \ln x} = \lim_{b \to +\infty} [\ln(\ln b) - \ln(\ln 2)] = +\infty$. Поэтому по интегральному признаку Коши ряд (17) расходится.

Замечание. Легко теперь установить (по тому же интегральному признаку Коши), что «чуть исправленный» ряд $\sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n \cdot \ln^2 n}$ уже сходится.

1.3. Знакочередующиеся ряды

Мы рассматривали признаки сходимости положительных рядов, все члены которых неотрицательны. Теперь мы будем допускать и отрицательные слагаемые, но для начала будем считать, что знаки слагаемых строго чередуются. *Знакочередующимся рядом* называется ряд, знаки слагаемых которого строго чередуются, начиная с положительного или отрицательного слагаемого. Поскольку число (-1) в четной степени равно 1, а в нечетной (-1), то такие ряды можно записать в форме

$$a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} a_n \qquad (1)$$

или

$$-a_1 + a_2 - a_3 + a_4 - \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n} a_n\,, \qquad (2)$$

причем в (1) и (2) уже считаем $a_n \geq 0$, так как знак слагаемых мы учли множителем $(-1)^{n+1}$ или $(-1)^{n}$. Эти множители попеременно принимают значения 1 и (−1), обеспечивая чередование знаков слагаемых рядов (1) и (2). Для обоснования сходимости таких рядов чаще всего используется так называемый *признак Лейбница*.

Теорема (признак Лейбница сходимости знакочередующихся рядов). Пусть для знакочередующегося ряда (1) или (2) выполнено:

1. Последовательность $\{a_n\}$ монотонно убывает, т.е. $a_1 \geq a_2 \geq a_3 \geq \cdots$.
2. $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = 0$.

Тогда исходный знакочередующийся ряд сходится.

Это только *достаточный* признак сходимости знакочередующихся рядов. Поэтому если для какого-либо знакочередующегося ряда условия признака не

выполнены, это не означает, что этот ряд обязательно расходится. Однако если условия выполнены, то ряд обязательно сходится. Впрочем, понятно, что второе-то условие ($\lim\limits_{n\to\infty} a_n = 0$) является необходимым для сходимости рядов вида (1) или (2), иначе общие члены этих рядов $(-1)^{n+1}a_n$ и $(-1)^n a_n$ не стремились бы к 0 тоже, а потому ряды бы оказались расходящимися (см. признак расходимости ряда в параграфе «Числовые ряды – основные понятия»).

Таким образом, справедливо следующее

*Утверждение (*достаточное условие расходимости знакочередующегося ряда). Если для знакочередующегося ряда (1) или (2)

$$\lim_{n\to\infty} a_n \quad \text{или не существует, или} \quad \lim_{n\to\infty} a_n \neq 0\,, \tag{3}$$

то он является расходящимся.

Пример 1. Попробуем через один поменять знаки слагаемых у гармонического ряда $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\ldots=\sum\limits_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}$ (который, как выше было выяснено, расходится). Получим следующий знакочередующийся ряд: $1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\frac{1}{4}+\ldots=\sum\limits_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{n}$. Это знакочередующийся ряд вида (1), для которого $a_n=\frac{1}{n}$ и оба условия признака Лейбница, очевидно, выполняются. Действительно, очевидно, что последовательность $\{a_n\}=\left\{\frac{1}{n}\right\}$ убывает (с ростом номера n) и $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = \lim\limits_{n\to\infty}\frac{1}{n}=0$. Поэтому этот ряд (в отличие от гармонического) сходится.

Пример 2. Исследовать на сходимость ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\cdot n^2 = -1+4-9+16-25+\cdots \quad . \tag{4}$$

Решение. Это знакочередующийся ряд вида (2), у которого $a_n = n^2$. Очевидно $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = \lim\limits_{n\to\infty} n^2 = +\infty$, а потому выполнено условие (3) расходимости ряда. Итак, ряд (4) расходится.

Пример 3. Исследовать на сходимость ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n - \ln n} = -1 + \frac{1}{2 - \ln 2} - \frac{1}{3 - \ln 3} + \cdots \quad . \tag{5}$$

Решение. Покажем, что ряд (5) является знакочередующимся рядом $\sum\limits_{n=1}^{\infty} (-1)^n a_n$ с

$$a_n = \frac{1}{n - \ln n} \tag{6}$$

и к нему применим признак Лейбница. Для того, чтобы доказать, что ряд (5) является знакочередующимся, нужно показать, что в (6)

$$a_n \geq 0, \quad n = 1,2,\ldots \quad . \tag{7}$$

Затем, чтобы показать, что к ряду (5) применим признак Лейбница, нужно доказать, что

$$a_1 \geq a_2 \geq a_3 \geq \cdots \tag{8}$$

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 . \tag{9}$$

Для доказательства свойств (7), (8) и (9) рассмотрим вспомогательную функцию

$$g(x) = x - \ln x \ , \quad x \in [1,+\infty) \quad . \tag{10}$$

Функция $g(x)$ в (10) это знаменатель в (6), где n заменено на x . Ясно, что

производная $g'(x)=(x-\ln x)'=1-\frac{1}{x}$, а потому $g'(x)\geq 0$ для всех $x\in[1,+\infty)$, что влечет возрастание функции $g(x)$ на $[1,+\infty)$. Но поскольку $g(1)=1-\ln 1=1-0=1>0$, то и для всех $x>1$ выполнено $g(x)>0$. Отсюда сразу следует справедливость (7) (так как в (6) числитель равен 1, а знаменатель больше нуля) и (8) (так как в (6) числитель не меняется, а знаменатель растет). Покажем выполнение свойства (9):

$$\lim_{n\to\infty} a_n = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n-\ln n} = \lim_{n\to\infty} \frac{\frac{1}{n}}{1-\frac{\ln n}{n}} \quad . \tag{11}$$

Ясно, что в числителе $\frac{1}{n}\to 0$. Найдем предел выражения $\frac{\ln n}{n}$: $\lim\limits_{n\to\infty} \frac{\ln n}{n} = \left[\frac{\infty}{\infty}\right]$={применяем правило Лопиталя раскрытия неопределенностей в пределах}$=\lim\limits_{n\to\infty} \frac{(\ln n)'}{(n)'} = \lim\limits_{n\to\infty} \frac{\frac{1}{n}}{1} = \lim\limits_{n\to\infty} \frac{1}{n} = 0$. Итак, $\lim\limits_{n\to\infty} \frac{\ln n}{n} = 0$, а потому из (11) следует $\lim\limits_{n\to\infty} a_n = \frac{0}{1-0} = 0$, т.е. выполнение свойства (9). Таким образом, ряд (5) действительно является знакочередующимся рядом, к которому применим признак Лейбница, а потому ряд (5) сходится.

1.4. Знакопеременные ряды

Переходим теперь к изучению рядов с произвольным распределением знаков его слагаемых. Пусть дан ряд

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \cdots \tag{1}$$

с произвольными по знаку слагаемыми $a_1, a_2, a_3, \ldots$. Опять нужно исследовать

его на сходимость. Поскольку большинство пройденных нами признаков сходимости-расходимости касались положительных рядов, то попробуем составить по данному ряду вспомогательный положительный ряд, для которого сможем применить эти признаки. Вспомогательный положительный ряд для ряда (1) построим так: положительные слагаемые оставим на месте, а у отрицательный поменяем знак. То же самое делает взятие модуля от числа (положительное число оставляет на месте, а у отрицательного поменяет знак), поэтому вспомогательный положительный ряд есть ряд, составленный из модулей слагаемых:

$$\sum_{n=1}^{\infty} |a_n| = |a_1| + |a_2| + |a_3| + \cdots \quad . \qquad (2)$$

Допустим, что имеющимися признаками для положительных рядов мы узнали, сходится ряд (2) или расходится. Можно ли теперь ответить на вопрос о сходимости или расходимости исходного ряда (1)? Иногда да, а иногда нет. Поскольку справедлива следующая

Теорема. Если ряд (2) сходится, то сходится и ряд (1).

А вот если ряд из модулей (2) расходится, то о сходимости или расходимости ряда (1) ничего сказать нельзя. Может быть всякое.

В связи с этим для знакопеременного ряда (1) могут возникнуть только 3 взаимоисключающие ситуации.

1. Ряд (2) сходится. В этом случае (по теореме) сходится и ряд (1), который в этом случае называется *абсолютно сходящимся* рядом. Этим подчеркивается, что сходится не только этот ряд, но и ряд, составленный из абсолютных величин (т.е. модулей) слагаемых ряда.

2. Ряд (2) расходится, но, тем не менее, сам ряд (1) сходится. В этом случае ряд (1) называется *условно сходящимся рядом.* Этим подчеркивается, что

сходится только сам ряд, но ряд, составленный из абсолютных величин слагаемых ряда, расходится.

3. Исходный ряд (1) расходится. Конечно, расходится при этом и ряд из модулей (2) (т.к. если бы он сходился, то по теореме сходился бы и исходный ряд).

Поэтому, когда ставится вопрос об исследовании сходимости произвольного знакопеременного ряда, то ответом будет являться одно из: а) ряд сходится абсолютно; б) ряд сходится условно; в) ряд расходится.

Пример 1. Ряд $1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\frac{1}{4}+\ldots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n}$ сходится *условно*. Это следует из того, что сам ряд сходится (это было доказано в примере 1 предыдущего параграфа), а составленный из модулей ряд суть гармонический $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\ldots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}$, который расходится.

Пример 2. Ряд $1-\frac{1}{4}+\frac{1}{9}-\frac{1}{16}+\ldots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n^2}$ сходится абсолютно. Это следует из того, что сходится составленный из модулей ряд $1+\frac{1}{4}+\frac{1}{9}+\frac{1}{16}+\ldots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}$,

поскольку это ряд вида $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{\alpha}}=1+\frac{1}{2^{\alpha}}+\frac{1}{3^{\alpha}}+\ldots$ при $\alpha=2>1$ (см. пример 8 параграфа «Положительные ряды»).

Пример 3. Ряд $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{\frac{n(n+1)}{2}}\cdot n=-1-2+3+4-5-6+7+8-\ldots$ расходится, так как общий член ряда, очевидно, не стремиться к 0.

Для исследования ряда на абсолютную сходимость может помочь следующая

Теорема (обобщенный признак Даламбера). Дан произвольный ряд $\sum_{n=1}^{\infty} b_n$. Пусть существует конечный или бесконечный предел $\lim_{n\to\infty}\frac{|b_{n+1}|}{|b_n|}=l$. Тогда при $l < 1$ ряд *абсолютно* сходится, а при $l > 1$ ряд расходится.

Этот признак может быть использован в дальнейшем и для исследования так называемых степенных рядов.

2. СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ

2.1. Функциональные ряды

Складывать можно не только бесконечно много чисел (т.е. составлять числовые ряды), но и бесконечно много функций. Пусть $u_1(x)$, $u_2(x)$, $u_3(x)$, … − бесконечный набор некоторых функций. Выражение вида

$$\sum_{n=1}^{\infty} u_n(x) = u_1(x) + u_2(x) + u_3(x) + \ldots \qquad (1)$$

называется *функциональным рядом.* Если в каждую из этих функций подставить одно и то же конкретное (допустимое) значение x и вычислить ее значение, затем подставить в функциональный ряд (1), то он перейдет в числовой ряд. При подстановке некоторых числовых значений x получающийся числовой ряд может оказаться сходящимся, а некоторых − расходящимся.

Областью сходимости функционального ряда (1) называется множество всех чисел x, при подстановке которых в этот ряд получается сходящийся числовой ряд.

Пусть D − область сходимости ряда (1). Тогда для всех x из D ряд (1) сходится, а потому имеет некоторое число S в качестве своей суммы. При разных x сумма ряда S может быть различной, а потому сумма ряда является некоторой *функцией* от x: $S = S(x)$. Тогда можно записать, что для всех x из D:

$$\sum_{n=1}^{\infty} u_n(x) = u_1(x) + u_2(x) + u_3(x) + \ldots = S(x). \qquad (2)$$

Пример 1. Найти область сходимости ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^x} = 1 + \frac{1}{2^x} + \frac{1}{3^x} + \ldots \quad . \qquad (3)$$

Решение. Ряд (3) это функциональный ряд вида (1) при $u_n(x) = \frac{1}{n^x}$. Нужно выяснить, при подстановке каких числовых значений x в (3) получается сходящийся числовой ряд. Ранее (в параграфе «Положительные ряды», пример 8) мы уже рассматривали подобные числовые ряды вида $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^\alpha} = 1 + \frac{1}{2^\alpha} + \frac{1}{3^\alpha} + \ldots$ и выяснили, что они сходятся только при условии $\alpha > 1$. Отсюда следует, что и ряд (3) сходится только при $x > 1$. Поэтому областью сходимости D данного ряда является интервал $(1, +\infty)$.

Пример 2. Найти область сходимости ряда

$$\sum_{n=1}^{\infty} x^{n-1} = 1 + x + x^2 + x^3 \ldots \qquad (4)$$

и выражение для суммы этого ряда $S = S(x)$.

Решение. При подстановке любого числа x в (4) получается, как легко видеть, геометрическая прогрессия с первым членом 1 и со знаменателем прогрессии $q = x$. В параграфе 1.1 мы уже рассматривали условия сходимости

геометрической прогрессии и получили, что она сходится только при условии $|q|<1$. Поэтому *областью сходимости ряда* (4) *является интервал* $(-1, 1)$, а для всех x из этого интервала сумма ряда (по формуле суммы бесконечной убывающей геометрической прогрессии – формула (6) в параграфе 1.1) равна : $S(x)=\frac{1}{1-x}$. Таким образом,

$$\sum_{n=1}^{\infty} x^{n-1} = 1 + x + x^2 + x^3 \ldots = \frac{1}{1-x} \quad \text{для всех} \quad x \in (-1,1). \qquad (5)$$

2.2. Степенные ряды – основные понятия

Более подробно рассмотрим специальные функциональные ряды $\sum_{n=0}^{\infty} u_n(x) = u_1(x) + u_2(x) + u_3(x) + \ldots$, для которых слагаемые $u_n(x)$ имеют вид: $u_n(x) = a_n(x - x_0)^n$, где x_0 – некоторое число, а $\{a_n\}$ – некоторая заданная последовательность чисел. Итак, *степенным рядом* с центром в точке x_0 называется функциональный ряд вида

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n(x-x_0)^n = a_0 + a_1(x-x_0) + a_2(x-x_0)^2 + a_3(x-x_0)^3 \ldots \quad . \qquad (1)$$

Числа $a_0, a_1, a_2 \ldots$ называются *коэффициентами* степенного ряда.

Пример 1. Функциональный ряд

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(x+5)^n}{n+1} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n+1} \cdot (x+5)^n = 1 + \frac{1}{2}(x+5) + \frac{1}{3}(x+5)^2 + \ldots .$$

является степенным рядом с центром в точке $x_0 = -5$, а его коэффициенты $a_n = \frac{1}{n+1}$, $n = 0, 1, 2, \ldots$.

Проще всего выглядит степенной ряд (1) с центром в нуле, т.е. когда $x_0 = 0$:

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \ldots \quad . \qquad (2)$$

Этот ряд можно рассматривать как многочлен бесконечной степени. Ряд (1) с переменной x всегда можно свести к ряду (2), сделав в нем замену переменной $y = x - x_0$. Тогда получится ряд вида (2) с переменной *y*.

Степенной ряд (1) всегда имеет непустую область сходимости, так как *число* x_0 (для ряда (2) это число 0) *всегда входит в эту область*, поскольку при $x = x_0$ степенной ряд (1) обрывается на первом слагаемом (остальные слагаемые зануляются), а потому сходится и сумма его равна a_0 .

Область сходимости степенного ряда (1) имеет специфическую структуру – это либо только одна точка x_0, либо некоторый интервал с центром в этой точке (концы интервала могут входить или не входить в эту область), либо вся числовая прямая (которая, при желании, может тоже рассматриваться как *бесконечный* интервал с центром в точке x_0). А именно, справедлива следующая

Теорема (об области сходимости степенного ряда). Областью сходимости степенного ряда (1) является либо одно число x_0, либо вся числовая прямая, либо интервал вида $(x_0 - R,\ x_0 + R)$ и, возможно, одна или обе концевых точки этого интервала.

Интервал $(x_0 - R,\ x_0 + R)$, фигурирующий в теореме, называется *интервалом сходимости* степенного ряда (1), а число R называется *радиусом сходимости* этого ряда. Для всех значений x внутри интервала сходимости степенной ряд (1) сходится *абсолютно*. Для ряда (2) (случай $x_0 = 0$) интервал

сходимости имеет вид $(-R,\ R)$.

Радиус сходимости может быть вычислен по одной из следующих формул:

$$R = \lim_{n\to\infty} \frac{|a_n|}{|a_{n+1}|} \tag{3}$$

или

$$R = \frac{1}{\lim\limits_{n\to\infty} \sqrt[n]{|a_n|}}, \tag{4}$$

если, конечно, соответствующие пределы существуют. Доказательство теоремы, а также формула (3) для радиуса сходимости могут быть получены несложными рассуждениями из обобщенного признака Даламбера, приведенного в конце параграфа 1.4, но здесь мы на этом останавливаться не будем.

Если по (3) или (4) получается $R = 0$, то область сходимости состоит только из одной точки x_0. Если же $R = \infty$, то областью сходимости является вся числовая прямая.

Для нахождения области сходимости произвольного степенного ряда $\sum\limits_{n=0}^{\infty} a_n (x - x_0)^n$ применяется *следующая схема*.

1) Находим интервал сходимости ряда $(x_0 - R,\ x_0 + R)$. Для этого либо вычисляется радиус сходимости R по приведенным выше формулам (3) или (4), либо напрямую применяется обобщенный признак Даламбера, приведенный в конце параграфа 1.4. Этот признак удобнее применять тогда, когда в степенном ряде бесконечно много коэффициентов $\{a_n\}$ обращаются в 0, а потому вычисление радиуса сходимости по формуле (3) или (4) невозможно. Это происходит, например тогда, когда ряд содержит только четные (либо только

нечетные) степени $(x-x_0)$, это означает, что в (1) все коэффициенты a_n при нечетных (соответственно, четных) показателях степени $(x-x_0)^n$ обращаются в ноль.

2) Проверяем принадлежность концевых точек интервала сходимости (x_0-R) и (x_0+R) области сходимости. Для этого подставляем каждое из этих чисел в исходный степенной ряд (вместо x) и исследуем на сходимость получившийся числовой ряд. Если ряд оказался сходящимся, то проверяемая граница интервала сходимости принадлежит области сходимости, а если нет, то нет.

3) Выписываем область сходимости как интервал сходимости с возможным включением его концевых точек (в зависимости от результатов пункта 2).

Пример 2. Найти область сходимости степенного ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(x+5)^n}{n\cdot 4^n}. \qquad (5)$$

Решение. Поскольку $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(x+5)^n}{n\cdot 4^n}=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{n\cdot 4^n}\cdot(x+5)^n$, то ряд (5) есть степенной ряд вида (1) с центром в точке $x_0=-5$ и коэффициентами $a_n=\frac{(-1)^n}{n\cdot 4^n}$.

Согласно приведенной выше схеме нахождения области сходимости степенного ряда, сначала вычислим радиус сходимости по формуле (3). В данном примере

$$|a_n|=\left|\frac{(-1)^n}{n\cdot 4^n}\right|=\frac{|(-1)^n|}{|n\cdot 4^n|}=\frac{1}{n\cdot 4^n}, \qquad (6)$$

поскольку $(-1)^n$ при любом натуральном числе n принимает значение либо 1, либо (-1), а выражение $n\cdot 4^n$ всегда положительно. Подставляя в (6) выражение $(n+1)$ вместо n, получим выражение для $|a_{n+1}|$: $|a_{n+1}|=\frac{1}{(n+1)\cdot 4^{n+1}}$. Тогда по

формуле (3) радиус сходимости

$$R=\lim_{n\to\infty}\frac{|a_n|}{|a_{n+1}|}=\lim_{n\to\infty}\left(\frac{1}{n\cdot 4^n}:\frac{1}{(n+1)\cdot 4^{n+1}}\right)=\lim_{n\to\infty}\frac{(n+1)\cdot 4^{n+1}}{n\cdot 4^n}=\lim_{n\to\infty}\frac{(n+1)\cdot 4}{n}=$$

$$=\lim_{n\to\infty}\frac{4n+4}{n}=\lim_{n\to\infty}\left(4+\frac{4}{n}\right)=4.$$

Таким образом, $R=4$. Поэтому интервалом сходимости $(x_0-R,\ x_0+R)$ будет в данном случае интервал $(-9,-1)$. Область сходимости состоит из точек этого интервала и, возможно, одной или обеих граничных точек этого интервала (-1) и (-9). Проверим эти точки на принадлежность области сходимости ряда (5). Для этого (по определению области сходимости ряда) будем подставлять эти числа вместо x в (5) и выяснять, будет ли получающийся при этом числовой ряд сходящимся или расходящимся.

Рассмотрим сначала $x=-1$. Подставляя $x=-1$ в ряд (5) получим числовой ряд: $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{4^n}{n\cdot 4^n}=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{n}=1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\frac{1}{4}+\dots$. Этот знакочередующийся ряд уже был рассмотрен в параграфе 1.3 (пример 1) и по признаку Лейбница было доказано, что он сходится. Поэтому число $x=-1$ будет включаться в область сходимости ряда (5).

Рассмотрим другую граничную точку интервала сходимости $x=-9$. Подставляя $x=-9$ в ряд (5) получим числовой ряд: $\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(-4)^n}{n\cdot 4^n}$. Упростим выражение для общего члена полученного ряда:

$$\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(-4)^n}{n\cdot 4^n}=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(-1\cdot 4)^n}{n\cdot 4^n}=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n\cdot\frac{(-1)^n\cdot 4^n}{n\cdot 4^n}=\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^{2n}\cdot\frac{1}{n}=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n}\quad.$$

При этом выводе мы воспользовались тем, что (-1) в четной степени $2n$ всегда дает 1. Полученный *гармонический* ряд $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}=1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}+\dots$, как

неоднократно было заявлено, расходится. Поэтому число $x = -9$ не будет включаться в область сходимости ряда (5). Таким образом, областью сходимости ряда (5) является полуинтервал $(-9, 1]$.

Пример 3. Найти область сходимости степенного ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty} n!\, x^n . \qquad (7)$$

Решение. Ряд (7) есть степенной ряд вида (1) с центром в точке $x_0 = 0$ (т.е. ряд вида (2)) и коэффициентами $a_n = n!$. Согласно приведенной выше схеме нахождения области сходимости степенного ряда, сначала вычислим радиус сходимости по формуле (3). В данном примере $|a_n| = |n!| = n!$, а потому $|a_{n+1}| = (n+1)!$. Тогда по формуле (3) радиус сходимости $R = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{|a_n|}{|a_{n+1}|} = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{n!}{(n+1)!} = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{1\cdot 2\cdot 3\cdot \ldots \cdot n}{1\cdot 2\cdot 3\cdot \ldots \cdot n\cdot (n+1)} = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{1}{n+1} = 0$. Таким образом, радиус сходимости $R = 0$. В этом случае (как выше сказано) область сходимости состоит из единственной точки $x_0 = 0$.

Пример 4. Найти область сходимости степенного ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} . \qquad (8)$$

Решение. Ряд (8) есть степенной ряд вида (1) с центром в точке $x_0 = 0$ (т.е. опять ряд вида (2)) и коэффициентами $a_n = \dfrac{1}{n!}$. Вычислим радиус сходимости по формуле (3). В данном примере $|a_n| = \left|\dfrac{1}{n!}\right| = \dfrac{1}{n!}$, а потому $|a_{n+1}| = \dfrac{1}{(n+1)!}$. Тогда по формуле (3) радиус сходимости $R = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{|a_n|}{|a_{n+1}|} = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{(n+1)!}{n!} = \lim\limits_{n\to\infty} \dfrac{1\cdot 2\cdot 3\cdot \ldots \cdot n\cdot (n+1)}{1\cdot 2\cdot 3\cdot \ldots \cdot n} = \lim\limits_{n\to\infty} (n+1) = \infty$. Таким образом, радиус сходимости $R = \infty$. В этом случае (как выше сказано) областью

сходимости является вся числовая прямая $(-\infty,+\infty)$.

2.3. Свойства суммы степенного ряда

Рассмотрим теперь свойства функции $S(x)$, являющейся суммой степенного ряда (1) в предыдущем параграфе и определенной на его области сходимости:

$$S(x)=\sum_{n=0}^{\infty}a_n(x-x_0)^n=a_0+a_1(x-x_0)+a_2(x-x_0)^2+a_3(x-x_0)^3\ldots \qquad (1)$$

Теорема (о почленном дифференцировании и интегрировании степенного ряда). Сумма $S(x)$ степенного ряда (1) является непрерывной функцией на интервале сходимости $(x_0-R,\ x_0+R)$. Внутри этого интервала степенной ряд можно почленно дифференцировать и брать неопределенный интеграл. Получающиеся при этом степенные ряды *имеют тот же радиус сходимости*, что и исходный степенной ряд.

Утверждение о возможности почленного дифференцирования и интегрирования степенного ряда означают справедливость следующих формул:

$$S'(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\left[a_n(x-x_0)^n\right]'=\sum_{n=0}^{\infty}a_n\cdot n\cdot(x-x_0)^{n-1}=$$

$$=a_1+2a_2(x-x_0)+3a_3(x-x_0)^2+\cdots \qquad (2)$$

$$\int S(x)dx=\sum_{n=0}^{\infty}a_n\int(x-x_0)^n dx=C+\sum_{n=0}^{\infty}\frac{a_n}{n+1}(x-x_0)^{n+1}=$$

$$=C+a_0(x-x_0)+\frac{a_1}{2}(x-x_0)^2+\frac{a_2}{3}(x-x_0)^3+\frac{a_3}{4}(x-x_0)^4+\ldots \qquad (3)$$

Произвольная постоянная C возникла, как и должно быть, при

вычислении неопределенного интеграла, только здесь ее удобно записать в начале, а не в конце.

По утверждению теоремы сумма $S(x)$ степенного ряда (1) является дифференцируемой (т.е. имеющей производную) функцией на интервале сходимости $(x_0 - R,\ x_0 + R)$. После вычисления ее производной по формуле (2) эта производная $S'(x)$ опять представляется суммой степенного ряда $S'(x) = a_1 + 2a_2(x - x_0) + 3a_3(x - x_0)^2 + \cdots$ с тем же интервалом сходимости $(x_0 - R,\ x_0 + R)$. А потому от функции $S'(x)$ опять можно вычислять производную (будет получаться уже вторая производная $S''(x)$), которая опять будет представляться степенным рядом на интервале $(x_0 - R,\ x_0 + R)$. И так далее. Отсюда вытекает важное следствие.

Следствие. Сумма $S(x)$ степенного ряда (1) является бесконечно дифференцируемой (т.е. имеет производные любого порядка) функцией на интервале сходимости этого ряда $(x_0 - R,\ x_0 + R)$.

С помощью приведенной выше теоремы можно находить области сходимости и (что наиболее важно) формулы для сумм некоторых степенных (или числовых) рядов. Для этого с помощью интегрирования или дифференцирования исследуемых рядов получают степенной ряд с известной суммой (например, геометрическую прогрессию), т.е. получают формульное выражение для производной или интеграла от искомой суммы $S(x)$, а затем по этому выражению восстанавливают и саму функцию $S(x)$.

Пример 1. Найти интервал сходимости и сумму степенного ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty}(n+1)\cdot x^n = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + \ldots \quad . \qquad (4)$$

Решение. Обозначим через $S(x)$ сумму этого ряда, пусть R – его радиус

сходимости. Тогда выполнено: $S(x)=\sum_{n=0}^{\infty}(n+1)\cdot x^n=1+2x+3x^2+4x^3+\ldots$ для всех точек из интервала сходимости $x\in(R,R)$. Тогда по формуле (3):

$$\int S(x)dx=\sum_{n=0}^{\infty}(n+1)\int x^n dx=C+\sum_{n=0}^{\infty}(n+1)\cdot\frac{1}{n+1}\cdot x^{n+1}=C+\sum_{n=0}^{\infty}x^{n+1}. \qquad (5)$$

Степенной ряд в правой части (5) $\sum_{n=0}^{\infty}x^{n+1}=x+x^2+x^3+\cdots$ при каждом числе x представляет собой геометрическую прогрессию с первым членом x и знаменателем прогрессии $q=x$. В параграфе 1.1 мы уже рассматривали условия сходимости геометрической прогрессии и получили, что она сходится только при условии $|q|<1$. Поэтому областью сходимости ряда $\sum_{n=0}^{\infty}x^{n+1}$ является интервал $(-1,1)$, а для всех x из этого интервала сумма ряда (по формуле суммы бесконечной убывающей геометрической прогрессии – формула (6) в параграфе 1.1) равна $\frac{x}{1-x}$. Таким образом, по приведенной выше теореме о почленном дифференцировании и интегрировании степенного ряда интервал сходимости исходного ряда (4) тоже $(-1,1)$. Подставляя $\frac{x}{1-x}$ в правую часть (5), получаем $\int S(x)dx=\frac{x}{1-x}+C$. Отсюда следует, что функция $\frac{x}{1-x}$ является одной из первообразных для $S(x)$, а потому $S(x)=\left(\frac{x}{1-x}\right)'=\frac{(x)'\cdot(1-x)-(1-x)'\cdot x}{(1-x)^2}=\frac{1}{(1-x)^2}$. Итак, мы нашли выражение для суммы степенного ряда (4):

$$\sum_{n=0}^{\infty}(n+1)\cdot x^n=1+2x+3x^2+4x^3+\ldots=\frac{1}{(1-x)^2},\qquad x\in(-1,1). \qquad (6)$$

Пример 2. Найти сумму числового ряда

$$\sum_{n=0}^{\infty}\frac{0.3^{n+1}}{n+1}=0.3+\frac{0.3^2}{2}+\frac{0.3^3}{3}+\cdots \quad . \tag{7}$$

Решение. Рассмотрим вспомогательный степенной ряд $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{x^{n+1}}{n+1}$, сумму которого обозначим $S(x)$:

$$S(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^{n+1}}{n+1}=x+\frac{x^2}{2}+\frac{x^3}{3}+\cdots \quad . \tag{8}$$

Найдем формулу для $S(x)$, а тогда $S(0.3)$ даст нам искомую сумму ряда (8). Вычислим производную функции $S(x)$ в (8), используя формулу (2) почленного дифференцирования ряда:

$$S'(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\left[\frac{x^{n+1}}{n+1}\right]'=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(n+1)x^n}{n+1}=\sum_{n=0}^{\infty}x^n=1+x+x^2+x^3+\cdots . \tag{9}$$

Для степенного ряда в правой части (9) мы уже находили сумму и область сходимости (см. параграф 2.1, формула (5)): $1+x+x^2+x^3\ldots=\frac{1}{1-x}$ для всех $x\in(-1,1)$. Поэтому из (9) получаем, что $S'(x)=\frac{1}{1-x}$ для $x\in(-1,1)$. Таким образом, функция $S(x)$ оказывается одной из первообразных функции $\frac{1}{1-x}$. Найдем множество всех первообразных этой функции (т.е. неопределенный интеграл от нее), а затем среди них найдем и $S(x)$: $S(x)=\int\frac{1}{1-x}dx=-\int\frac{d(1-x)}{1-x}=-\ln|1-x|+C$. Таким образом, получили, что для $x\in(-1,1)$:

$$S(x)=-\ln|1-x|+C \tag{10}$$

при некотором значении произвольной постоянной C. Найдем это значение C. Из (8) следует, что значение функции $S(x)$ при $x=0$ будет

$S(0) = 0 + \frac{0^2}{2} + \frac{0^3}{3} + \cdots = 0 + 0 + 0 + \cdots = 0$. Таким образом, $S(0) = 0$, а потому из (10): $0 = -\ln|1-0| + C$, откуда $C = 0$. Поэтому из (10) получаем, что $S(x) = -\ln|1-x|$ для всех $x \in (-1,\ 1)$. А потому $S(0.3) = -\ln|1-0.3| = -\ln 0.7$. Итак, $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{0.3^{n+1}}{n+1} = 0.3 + \frac{0.3^2}{2} + \frac{0.3^3}{3} + \cdots = -\ln 0.7 \approx 0.35$.

2.4. Разложение функций в степенные ряды

Используя формулу для суммы бесконечно убывающей геометрической прогрессии, мы в параграфе 2.1 (формула (5)) получили, что сумма степенного ряда $\sum_{n=0}^{\infty} x^n = 1 + x + x^2 + x^3 \ldots = \frac{1}{1-x}$ для всех $x \in (-1,1)$. Если теперь поменять местами левую и правую часть этого равенства, то получится, что выполнено равенство

$$\frac{1}{1-x} = \sum_{n=1}^{\infty} x^{n-1} = 1 + x + x^2 + x^3 \ldots \text{ для всех } x \in (-1,\ 1). \qquad (1)$$

Это означает, что функция $f(x) = \frac{1}{1-x}$ представлена на интервале $(-1,\ 1)$ в виде сходящегося степенного ряда. А для каких еще функций возможно такое представление? И как его найти?

Введем следующее определение. Будем говорить, что функция $f(x)$ *разлагается в степенной ряд* с центром в x_0 на интервале $(x_0 - R, x_0 + R)$, если для всех x из этого интервала справедливо равенство

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (x - x_0)^n = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)^2 + a_3(x - x_0)^3 \ldots \quad . \qquad (2)$$

Теперь заданные выше вопросы можно переформулировать следующим образом. Какие функции разлагаются в степенные ряды с центром в некоторой

точке x_0 и (если разложение возможно) как найти коэффициенты a_0, a_1, a_2, … этого разложения?

В предыдущем параграфе было сформулировано следствие о том, что сумма степенного ряда является бесконечно дифференцируемой функцией на интервале сходимости ряда. Поэтому разлагаться в степенной ряд могут только функции, имеющие производные любого порядка (да и то не все!). Пусть некоторая функция $f(x)$ имеет производные *любого* порядка в некоторой окрестности точки x_0. Найдем значения самой функции и всех ее производных (по предположению они существуют!) в этой точке : $f(x_0)$, $f'(x_0)$, $f''(x_0)$, ..., $f^{(n)}(x_0)$, ... Теперь, используя эти числа, составим следующий степенной ряд:

$$f(x_0)+\frac{f'(x_0)}{1!}(x-x_0)+\frac{f''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2+\ldots+\frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x-x_0)^n+\ldots =$$

$$=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x-x_0)^n \ . \qquad (3)$$

Этот ряд называется *рядом Тейлора* функции $f(x)$ с центром в точке x_0. Таким образом, каждой бесконечно дифференцируемой в окрестности точки x_0 функции можно поставить в соответствие некоторый степенной ряд − ее ряд Тейлора. Оказывается, что уж *если функция разлагается в окрестности некоторой точки в какой-либо степенной ряд, то этот ряд может быть только рядом Тейлора этой функции*. Об этом говорит следующая теорема.

Теорема (о единственности разложения в степенной ряд). Пусть функция $f(x)$ разлагается в окрестности точки x_0 в степенной ряд:

$$f(x)=\sum_{n=0}^{\infty}a_n(x-x_0)^n=a_0+a_1(x-x_0)+a_2(x-x_0)^2+a_3(x-x_0)^3\ldots \ . \qquad (4)$$

Тогда она бесконечно дифференцируема в окрестности этой точки и

$$a_0 = f(x_0),\ \ a_1 = \frac{f'(x_0)}{1!},\ \ a_2 = \frac{f''(x_0)}{2!},\ \ \dots\ ,\ \ a_n = \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!},\ \ \dots\ . \qquad (5)$$

Доказательство. Бесконечная дифференцируемость функции $f(x)$, являющейся суммой степенного ряда, уже отмечалась в предыдущем параграфе. Подставив в правую и левую части равенства (4) $x = x_0$, получим первую из формул в (5). Дифференцируя почленно степенной ряд в (4) (а это можно делать с суммой степенного ряда!), получим $f'(x) = a_1 + 2a_2(x - x_0) + 3a_3(x - x_0)^2 + \cdots$. Снова подставляя в это равенство $x = x_0$, получим вторую из формул в (5). Снова дифференцируя это равенство и подставляя $x = x_0$, получим третью формулу в (5). И так далее, что завершает доказательство теоремы.

Формулы (5) и дают ответ на вопрос о способе нахождения коэффициентов a_0, a_1, a_2, … разложения функции $f(x)$ в степенной ряд (коли такое разложение вообще возможно). Теперь ответим на вопрос о том, для каких функций гарантирована возможность такого разложения.

Теорема (о разложении). Если функция $f(x)$ бесконечно дифференцируема в некотором интервале $(x_0 - R, x_0 + R)$ и ее производные всех порядков ограничены на этом интервале одним и тем же числом (т.е. в формальной записи $\exists M\ \ \forall n\ \ \forall x \in (x_0 - R, x_0 + R) : |\, f^{(n)}(x) | < M$), то она разлагается в свой ряд Тейлора на этом интервале, т.е. для всех $x \in (x_0 - R, x_0 + R)$ имеет место представление:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(x_0)}{n!}(x - x_0)^n =$$

$$= f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!}(x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!}(x - x_0)^2 + \frac{f'''(x_0)}{3!}(x - x_0)^3 + \dots \qquad (6)$$

Особенно просто ряд Тейлора (3) для функции $f(x)$ выглядит при $x_0 = 0$:

$$f(0)+\frac{f'(0)}{1!}x+\frac{f''(0)}{2!}x^2+\ldots+\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n+\ldots=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n.$$

В этом случае ряд Тейлора называется *рядом Маклорена* для функции $f(x)$. Учитывая (6), находим вид разложения функции в ряд Маклорена ($x_0=0$):

$$f(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n=f(0)+\frac{f'(0)}{1!}x+\frac{f''(0)}{2!}x^2+\frac{f'''(0)}{3!}x^3+\ldots+\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n+\ldots\ . \qquad (7)$$

Согласно приведенной выше теореме о разложении, представление (7) функции $f(x)$ в виде ряда Маклорена имеет место на любом интервале вида $(-R,R)$, если только функция $f(x)$ бесконечно дифференцируема в интервале $(-R,R)$ и ее производные всех порядков ограничены на этом интервале одним и тем же числом .

Разложение функций в ряд Маклорена применяется значительно чаще, поскольку представляет собой удобное для приложений разложение функции по степеням x (т.е. представляет собой многочлен «бесконечной степени»). Найдем разложения в ряд Маклорена некоторых основных элементарных функций.

2.5. Разложения элементарных функций в ряды Маклорена

В этом параграфе мы, используя вид разложения функции в ряд Маклорена

$$f(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n=f(0)+\frac{f'(0)}{1!}x+\frac{f''(0)}{2!}x^2+\frac{f'''(0)}{3!}x^3+\ldots+\frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n+\ldots\ , \qquad (1)$$

найдем разложение по степеням x некоторых элементарных функций.

1. Пусть $f(x)=e^x$. Тогда, очевидно, $f'(x)=f''(x)=f'''(x)=\cdots=f^{(n)}(x)=\cdots=e^x$. Поэтому на *любом* конкретном интервале $(-R,R)$ эти производные ограничены одним и тем же числом (например, числом $M=e^R$) и

$f'(0)=f''(0)=f'''(0)=\cdots=f^{(n)}(0)=\cdots=e^0=1$. Поэтому условия теоремы о разложении выполняются на *любом* интервале $(-R,R)$, а потому, согласно (1), для всех $x\in(-\infty,+\infty)$:

$$e^x=1+\frac{x}{1!}+\frac{x^2}{2!}+\ldots+\frac{x^n}{n!}+\ldots=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{x^n}{n!} \quad . \tag{2}$$

2. Рассмотрим $f(x)=\sin x$. Тогда $f'(x)=(\sin x)'=\cos x$, $f''(x)=(\cos x)'=-\sin x$, $f'''(x)=(-\sin x)'=-\cos x$, $f''''(x)=(-\cos x)'=-\sin x$. Поскольку опять получилась функция $f(x)=\sin x$, то дальнейшие производные будут повторять те, что мы уже нашли. Поэтому все производные ограничены на всей числовой прямой (например, числом *1*, как все синусы и косинусы) и условия теоремы о разложимости в степенной ряд на всей числовой прямой выполнены. Далее, $f(0)=\sin 0=0$, $f'(0)=\cos 0=1$, $f''(0)=-\sin 0=0$, $f'''(0)=-\cos 0=-1$, $f''''(0)=-\sin 0=0$ и далее все циклически повторяется. Поэтому разложение (1) будет содержать только нечетные степени x:

$$\sin x=x-\frac{x^3}{3!}+\frac{x^5}{5!}-\frac{x^7}{7!}+\ldots=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n x^{2n+1}}{(2n+1)!} \tag{3}$$

для всех $x\in(-\infty,+\infty)$.

3. Рассмотрим $f(x)=\cos x$. Тогда можно получить разложение в ряд Маклорена тем же путем, что для $f(x)=\sin x$. Но мы сделаем это проще, если учтем полученное разложение (3) для $f(x)=\sin x$ и то, что $\cos x=(\sin x)'$. Дифференцируя (т.е. беря производную) почленно правую и левую части равенства (3), получим, учитывая возможность почленного дифференцирования степенных рядов внутри их интервала сходимости,

$$\cos x=1-\frac{3x^2}{3!}+\frac{4x^3}{4!}-\frac{7x^7}{6!}+\ldots=1-\frac{x^2}{2!}+\frac{x^4}{4!}-\frac{x^6}{6!}+\ldots \ .$$

Таким образом, для всех $x\in(-\infty,+\infty)$:

$$\cos x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n)!} x^{2n} = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \ldots \ . \qquad (4)$$

4. Рассмотрим $f(x) = \ln(1+x)$. Тогда, интегрируя почленно полученное ранее разложение $\frac{1}{1-x} = \sum_{n=1}^{\infty} x^{n-1} = 1 + x + x^2 + x^3 \ldots$, можно получить

$$\ln(1+x) = C + x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^5}{5} + \ldots = C + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} x^n \qquad (5)$$

для всех $x \in (-1,1)$. Произвольная постоянная C появилась, как обычно, после вычисления неопределенного интеграла. Найдем ее значение. Для этого подставим в (5) $x = 0$: $\ln 1 = C$, т.е. $C = 0$. Поэтому из (5) получаем:

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} x^n, \quad x \in (-1,1). \qquad (6)$$

5. Рассмотрим $f(x) = (1+x)^{\alpha}$, где α – любое действительное число. Тогда, вычисляя значения производных в нуле, из (1) можно (хотя чуть более громоздко, чем в предыдущих примерах) получить:

$$(1+x)^{\alpha} = 1 + \alpha x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!} x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!} x^3 + \ldots + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)\ldots(\alpha-(n-1))}{n!} x^n + \ldots \qquad (7)$$

для всех $x \in (-1,1)$. Например, при $\alpha = \frac{1}{2}$ получаем разложение для квадратного корня:

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \ldots \quad \text{для всех } x \in (-1,1). \qquad (8)$$

С помощью приведенных выше разложений для основных элементарных можно находить разложения по степеням x более сложных функций.

Пример1. Разложить по степеням x (т.е. в ряд Маклорена) функцию

$f(x) = x \cdot \ln(1+x^2)$.

Решение. Заменяя в правой и левой части (6) x на x^2, получим

$$\ln(1+x^2) = x^2 - \frac{x^4}{2} + \frac{x^6}{3} - \frac{x^8}{4} + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} x^{2n}, \quad x \in (-1,1).$$

Умножая обе части этого равенства на x, получаем

$$x \cdot \ln(1+x^2) = x^3 - \frac{x^5}{2} + \frac{x^7}{3} - \frac{x^9}{4} + \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} x^{2n+1}, \quad x \in (-1,1).$$

Пример2. Разложить по степеням x функцию $f(x) = \sin^2 x$.

Решение. Применяя формулу понижения степени, получаем

$$f(x) = \sin^2 x = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos 2x). \tag{9}$$

Подставляя $2x$ вместо x в разложение (4) для косинуса, последовательно для (9) получаем:

$$\cos 2x = = 1 - \frac{2^2 \cdot x^2}{2!} + \frac{2^4 \cdot x^4}{4!} - \frac{2^6 \cdot x^6}{6!} + \ldots,$$

$$1 - \cos 2x = \frac{2^2 \cdot x^2}{2!} - \frac{2^4 \cdot x^4}{4!} + \frac{2^6 \cdot x^6}{6!} - \ldots,$$

$$\sin^2 x = \frac{2}{2!} \cdot x^2 - \frac{2^3}{4!} \cdot x^4 + \frac{2^5}{6!} \cdot x^6 - \ldots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot 2^{2n-1}}{(2n)!} \cdot x^{2n}, \qquad x \in (-\infty, +\infty).$$

Пример3. Разложить по степеням $\left(x + \frac{\pi}{2}\right)$ функцию $f(x) = \sin 2x$.

Решение. Введем новую переменную

$$y = x + \frac{\pi}{2} \tag{10}$$

и выразим $\sin 2x$ через y. Из (10) следует $x = y - \frac{\pi}{2}$, а потому

$\sin 2x = \sin 2\left(y - \frac{\pi}{2}\right) = \sin(2y - \pi) = \{$пользуемся нечетностью синуса$\} = -\sin(\pi - 2y) =$

$=\{$пользуемся формулой приведения $\sin(\pi - \alpha) = \sin\alpha\} = -\sin 2y = \{$в разложение синуса (3) по степеням x подставляем $2y$ вместо $x\} =$

$= -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (2y)^{2n+1}}{(2n+1)!} = -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot 2^{2n+1} \cdot y^{2n+1}}{(2n+1)!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot 2^{2n+1} \cdot y^{2n+1}}{(2n+1)!}$. Подставляя, согласно (10), $y = x + \frac{\pi}{2}$, окончательно получаем:

$$\sin 2x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot 2^{2n+1}}{(2n+1)!} \cdot \left(x + \frac{\pi}{2}\right)^{2n+1} = -2 \cdot \left(x + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{2^3}{3!} \cdot \left(x + \frac{\pi}{2}\right)^3 - \cdots \quad .$$

Это и есть искомое разложение.

С помощью рядов Тейлора и Маклорена *можно вычислять приближенные значения функции*, обрывая эти ряды на каком-нибудь слагаемом (чем больше оставим членов ряда, тем точнее будет вычисленное значение).

Пример 4. Вычислить приближенно $\sqrt{4.1}$.

Решение. Имеем: $\sqrt{4.1} = \sqrt{4 + 0.1} = \sqrt{4 \cdot \left(1 + \frac{0.1}{4}\right)} = 2 \cdot \sqrt{1 + 0.025}$. Из написанного выше в (8) разложения $\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \ldots$, оставляя 3 слагаемых, получаем приближенную формулу $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2$. Применяя ее при $x = 0.025$, получим $\sqrt{4.1} = 2 \cdot \sqrt{1 + 0.025} \approx 2 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot 0.025 - \frac{1}{8} \cdot 0.025^2\right) = 2.02484375$. Отметим, что точное значение $\sqrt{4.1} = 2.024845673\ldots$.

3. ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие числовые ряды называются сходящимися? Что называется суммой сходящегося ряда?
2. Каков общий признак расходимости рядов?
3. Исследовать на сходимость ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n}{100n+30}$.
4. Как формулируется признак сравнения для положительных рядов (в простой и предельной форме)? Какие ряды являются «эталонными»?
5. Исследовать на сходимость ряды $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\cos(2n)|}{2^n}$, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n}{100n^2+3n-30}$.
6. Как формулируются признаки Даламбера и Коши (радикальный и интегральный) сходимости положительных рядов?
7. Исследовать на сходимость ряды $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^2}{2^n}$, $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{n}{2n+1}\right)^n$.
8. Какие ряды называются знакочередующимися? Как формулируется признак Лейбница сходимости знакочередующихся рядов?
9. Исследовать на сходимость ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\sqrt{2n+1}}$.
10. Какая связь между сходимостью, абсолютной сходимостью и условной сходимостью знакопеременных рядов?
11. Исследовать ряды на абсолютную и условную сходимость $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n)}{2^n}$, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{100n+30}$.
12. Какой вид имеет область сходимости степенного ряда? Как она ищется?
13. Найти области сходимости степенных рядов $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n \cdot 2^n}$, $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(x+2)^{2n-1}}{10n+1}$.
14. Какие функции могут быть разложены в ряд Тейлора? Как вычислить коэффициенты такого ряда? Что такое ряд Маклорена?

15. Какой вид имеют разложения в степенные ряды функций: $y = \sin x$, $y = \cos x$, $y = e^x$, $y = arctg(x)$, $y = (1+x)^m$.

16. Разложить функцию $y = \cos^2 x$ по степеням x.

4. ВАРИАНТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Вариант 1

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n^2+7}{n^3 \cdot (n+1)}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{3^{n+1} x^n}{(n+1)!}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = e^{-x^2}$.

Вариант 2

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} n \sin \frac{1}{n}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\sqrt{n+1}}$

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n+1}}{(n+1)}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = x^2 \ln(1 + x^3)$.

Вариант 3

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{n} - 0.5}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=2}^{\infty} (-1)^n \cos\frac{1}{n}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n^2 \cdot 2^{4n}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = \sin^2 x$.

Вариант 4

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+2) \cdot 2^{2n}}{(n+3)!}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{1}{2}\right)^{n+1} \cdot \frac{n}{n+1}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(x+2)^n}{n^3 \cdot 3^{2n}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = \frac{\sin x}{x}$.

Вариант 5

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий

признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n^3}{e^n}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\left(\frac{n+1}{2n+1}\right)^n$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n(x+5)^{2n}}{(n+1)^2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\left(1+e^x\right)^2$.

Вариант 6

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2^n}\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n^2}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\frac{2n-1}{\sqrt{3^n}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x-3)^n}{n^2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sin 3x+x\cos 3x$.

Вариант 7

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{3n^2\cdot\sin\frac{1}{n}}{2n^2+1}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{1}{(n+1)\ln(n+1)}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{2^n x^n}{n}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sin x+\sin 3x$.

Вариант 8

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=2}^{\infty}\frac{n}{e^{n^2}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\frac{2n+1}{(n+1)^3}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x-3)^n}{\sqrt{n}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=2^x$.

Вариант 9

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{3n^2-1}{n\cdot(n+1)}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n}\frac{1}{2n-\sqrt{n}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x-1)^n}{n^n}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\cos^2 x$.

Вариант 10

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}(n+2)\sin\frac{1}{n+1}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n(n+1)}\frac{1}{\sqrt{n^3+5}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{n+1}{n}\right)^n x^n$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=e^{-x^2}$.

Вариант 11

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n}{\sqrt{n^3-1}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\frac{1}{(3n-2)!}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{(x-3)^n}{n+1}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sqrt{x+3}$.

Вариант 12

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(3n+2)\cdot 5^{2n+10}}{(n-1)!}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \ln 2.$

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left(\frac{n+1}{2n+1}\right)^n (x+2)^n.$

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = \ln(x+2)$.

Вариант 13

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^5}{5^n}.$

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{3n^2-1}{5+2n^2}.$

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{2n+1} \frac{x^n}{n!}.$

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = e^x + e^{2x}$.

Вариант 14

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{3^{n+3}} \left(1+\frac{1}{n+1}\right)^{(n+1)^2}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{1}{(n+1)\ln(n+1)}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x+1)^n}{n\ln n}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=3e^x-2\ln(1-x)$.

Вариант 15

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{3n^2\cdot\sin\frac{1}{n+6}}{4n+3}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{1}{n\ln^2 n}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x-1)^n}{2^{n-1}n^2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sqrt[3]{1+2x}$.

Вариант 16

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{3n^5+2n^2-1}{(n^3+1)\cdot(n^3+2)}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную

сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{4n-1}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{n-1}x^n}{(2n+1)!}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = e^{x^3}$.

Вариант 17

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{3n+2}{n^2 \cdot \sqrt{n+1}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{\sqrt[3]{n+5}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-x)^n}{\sqrt[3]{n+1}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = x\ln(1-x^3)$.

Вариант 18

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{3n-2}}{(2n-1) \cdot 3^{2n+1}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \sin\frac{1}{\sqrt{n}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x+2)^n}{n^2\cdot 3^{2n+1}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=-x\sin^2 x$.

Вариант 19

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{n!}{n^n}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(-\frac{1}{3}\right)^n\frac{2n+1}{3+n}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x+2)^n}{n^2\cdot 3^n}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\frac{1+\cos 2x}{x}$.

Вариант 20

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{3n^2}{2n^2+1}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\left(\frac{3n+1}{5n-2}\right)^n$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\frac{(x-3)^n}{n^3}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\left(1-e^x\right)^2$.

Вариант 21

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{\pi-2\ln\left(1+\sin\left(\frac{1}{n}\right)\right)}{3\cos\frac{1}{n+3}}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\frac{n-1}{\sqrt{2^{3n}}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x+23)^n}{(n+2)^2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\cos x+x\sin x$.

Вариант 22

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{2n^2+2n+1}{5n^2-2n-1}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{1}{(2n+3)\ln(2n+3)}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{3^{n+1}x^n}{n+2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sin 3x+x\cos 3x$

Вариант 23

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{n \cdot \ln^2 n}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{n+1}{(n+2)^4}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(x+1)^n}{\sqrt{3n-1}}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = 3^{2x}$.

Вариант 24

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{\sqrt[3]{5n^2+n+1}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{2n^2-n}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(x-1)^n}{2^{n+3} n^2}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = \frac{1+cos4x}{x}$.

Вариант 25

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий

признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\sin nx|}{3^{n+1}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n(n-1)} \frac{1}{\sqrt{n^4+5}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{3n+1}{n+2} \right)^n x^n$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = e^{-2x}$.

Вариант 26

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{5^{3n} \cdot (3n+2)}{n\ !}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{1}{(2n-2)!}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{(x-4)^n}{3n+1}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x) = \sqrt{2x+3}$.

Вариант 27

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n-1)\ !}{n \cdot 7^n}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную

сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n \frac{\ln 2}{\ln 23}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\left(\frac{2n-1}{3n+1}\right)^n (x-2)^n$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\ln(2x+1)$.

Вариант 28

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{3^{n+3}}{n^5}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n \cos\frac{3}{n^3}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{2n+3}\frac{(n+1)x^n}{(n-1)!}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=2e^x-e^{2x}$.

Вариант 29

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{4\cos\left(\frac{1}{n^3}\right)+5\sin\left(3\pi-\frac{1}{n+6}\right)}{3n+4\ln\left(1+\frac{1}{n^5}\right)}\right)^n$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{1}{n\ln\sqrt{n}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x+1)^n}{(n+1)^2 n!}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=3e^{-x}-\ln(1+x)^2$.

Вариант 30

1. Исследовать сходимость положительного ряда, применяя подходящий признак: $\sum_{n=2}^{\infty}\frac{1}{n\cdot\sqrt[5]{\ln^2 n}}$.

2. Исследовать знакопеременный ряд на абсолютную или условную сходимость: $\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n\frac{n}{3^{n-1}}$.

3.Найти область сходимости степенного ряда: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(x-1)^n}{3^{2n-1}n}$.

4. Найти разложение функции в ряд Маклорена по степеням x: $f(x)=\sqrt[4]{1+x^2}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Письменный Д. Конспект лекций по высшей математике (полный курс). М.: Айрис Пресс, 2006.
2. Щипачев В.С. Курс высшей математики. М.: Проспект, 2002.
3. Данко П.Е. и др. Высшая математика в упражнениях и задачах. М.: Оникс 21 век, 1998.
4. Запорожец Г.И. Руководство к решению задач по математическому анализу. СПб.: Лань, 2009.



Министерство образования и науки РФ
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Т. И. Королюк

ЭЛЕМЕНТЫ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……...4

1. Функция-оригинал и её изображение……5
2. Линейность преобразования Лапласа……6
3. Изображение единичной функции 1(t)……..6
4. Изображения функций $e^{at}, \sin\omega t, \cos\omega t, sh\omega t, ch\omega t$ …..…….7
5. Теорема смещения……10
6. Дифференцирование изображения……...11
7. Изображения функций $t^n, t^n e^{at}$ ……....12
8. Теорема запаздывания……...16
9. Дифференцирование оригинала……...21
10. Интегрирование оригинала…….....23
11. Свёртка оригиналов, её свойства. Теорема умножения……24
12. Интеграл Дюамеля……27
13. Нахождение оригинала по изображению……...30
14. Применение операционного исчисления к решению линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами……39
15. Решение систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами операционным методом ……44

УПРАЖНЕНИЯ..…….....51

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ……...……..53

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие предназначено для студентов всех специальностей очного и заочного обучения.

Операционное исчисление является одним из методов прикладного математического анализа. С помощью операционного исчисления во многих случаях удается упростить решение задач, встречающихся в автоматике, электронике и других областях.

В пособии изложены основные сведения о преобразовании Лапласа, его свойствах и применении для решения линейных дифференциальных уравнений и систем таких уравнений в объеме курса лекций по этому разделу дисциплины «Математика».

Теоретический материал сопровождается подробным разбором решений типовых задач, а также даны варианты заданий для самостоятельной работы студентов.

Целью работы является активизация самостоятельной работы студентов и содействие более глубокому усвоению разделов курса математики и ее приложений.

1. Функция-оригинал и её изображение

Любую функцию $f(t)$ действительной переменной t называют оригиналом, если она удовлетворяет условиям:

1) $f(t)=0$ при всех $t<0$;

2) $f(t)$ кусочно непрерывна, т. е. такая, что в любом конечном интервале она имеет конечное число точек разрыва 1-го рода;

3) существуют такие постоянные $M>0$ и $S_0 \geq 0$, что $|f(t)|<Me^{S_0 t}$ при любом значении $0 \leq t<\infty$.

Лапласовым изображением оригинала $f(t)$ называют функцию $F(p)$ комплексной переменной $p=x+iy$, определяемую соотношением

$$F(p)=\int_0^{+\infty} f(t)e^{-pt}dt.$$

Если функция $f(t)$ имеет своим изображением $F(p)$, то это соответствие записывают так:

$$f(t)=F(p), \quad F(p)=f(t), \quad L\big(f(t)\big)=F(p).$$

Для любого оригинала $f(t)$ интеграл Лапласа $\int_0^{+\infty} f(t)e^{-pt}dt$ сходится абсолютно при $\operatorname{Re} p>S_0$, где S_0 - показатель роста функции $f(t)$.

В этой полуплоскости изображение $F(p)$ является аналитической функцией. Переход от функции $f(t)$ к функции $F(p)$ называется *преобразованием Лапласа.*

2. Линейность преобразования Лапласа

Теорема

Если $f(t)=\sum_{k=1}^{n} C_k f_k(t)$, C_k - постоянные и $F(p)=f(t), F_k(p)=f_k(t)$,

то $F(p)=\sum_{k=1}^{n} C_k F_k(p)$.

Доказательство

$$F(p)=\int_0^{\infty} f(t)\,e^{-pt}dt=\sum_{k=1}^{n} C_k\left(\int_0^{\infty} f_k(t)\,e^{-pt}dt\right)=\sum_{k=1}^{n} C_k F_k(p).$$

3. Изображение единичной функции 1 (*t*)

Простейшей функцией–оригиналом является единичная функция

$$1\,(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ 1, & t\geq 0.\end{cases}$$

Найдем ее изображение

$$L(1(t))=\int_0^{\infty} 1\cdot e^{-pt}dt=-\frac{1}{p}\,e^{-pt}\Big|_0^{+\infty}=-\frac{1}{p}(0-1)=\frac{1}{p}\qquad(\mathrm{Re}\,p>0).$$

Итак,

$$1(t)=\frac{1}{p}\qquad(\mathrm{Re}\,p>0).$$

4. Изображения функций e^{at}, $\sin \omega t$, $\cos \omega t$, $sh\ \omega t$, $ch\ \omega t$

$$L(e^{at}) = \int_0^{\infty} e^{at} \cdot e^{-pt} dt = \int_0^{\infty} e^{-(p-a)t} dt = -\frac{1}{p-a} e^{-(p-a)t} \Big|_0^{+\infty} = \frac{1}{p-a} \quad (\mathrm{Re}\, p > \mathrm{Re}\, a).$$

Таким образом, $e^{at} = \dfrac{1}{p-a}$.

В этой формуле a может быть и комплексным. Применяя свойство линейности преобразования Лапласа, найдем изображения тригонометрических функций

$$\sin \varpi t = \frac{e^{i\omega t} - e^{-i\omega t}}{2i}, \quad coc\omega t = \frac{e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}}{2}, \quad \omega \text{ - положительное число.}$$

$$L(\sin \omega t) = \frac{1}{2i}\left(L(e^{i\omega t}) - L(e^{-i\omega t})\right) = \frac{1}{2i}\left(\frac{1}{p - i\omega} - \frac{1}{p + i\omega}\right) =$$

$$= \frac{1}{2i} \frac{(p + i\omega - p + i\omega)}{p^2 + \omega^2} = \frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \quad \text{при } \mathrm{Re}\, p > 0$$

$$L(\cos \omega t) = \frac{1}{2}\left(L(e^{i\varpi t}) + L(e^{-i\varpi t})\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{p - i\omega} + \frac{1}{p + i\omega}\right) = \frac{p}{p^2 + \omega^2}$$

при $\mathrm{Re}\, p > 0$.

Аналогично, исходя из определения гиперболических функций

$$sh\ \omega t = \frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2}, \quad ch\omega t = \frac{e^{\omega t} + e^{-\omega t}}{2},$$

найдем их отображения.

$$L(sh\omega t)=\frac{1}{2}\left(L(e^{\omega t})-L(e^{-\omega t})\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{p-\omega}-\frac{1}{p+\omega}\right)=\frac{\omega}{p^2-\omega^2}.$$

$$L(ch\omega t)=\frac{1}{2}\left(L(e^{\omega t})+L(e^{-\omega t})\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{p-\omega}+\frac{1}{p+\omega}\right)=\frac{p}{p^2-\omega^2} \quad \text{при } \mathrm{Re}p>\omega.$$

Получили формулы

$$\sin\omega t=\frac{\omega}{p^2+\omega^2}, \qquad sh\omega t=\frac{\omega}{p^2-\omega^2},$$

$$\cos\omega t=\frac{p}{p^2+\omega^2}, \qquad ch\omega t=\frac{p}{p^2-\omega^2}.$$

Пример 1

Найти изображение функции $f(t)=\begin{cases}1-t, & 0\le t<1,\\ 0, & t\ge 1.\end{cases}$

Решение

$$L\big(f(t)\big)=\int_0^{\infty} f(t)e^{-pt}dt=\int_0^{1}(1-t)e^{-pt}dt+\int_1^{\infty}0\cdot e^{-pt}dt=$$

$$=(1-t)\left(-\frac{1}{p}e^{-pt}\right)\Bigg|_0^1-\int_0^1-\frac{1}{p}e^{-pt}\cdot(-dt)=$$

$$=\frac{1}{p}-\frac{1}{p}\left(-\frac{1}{p}e^{-pt}\right)\Bigg|_0^1=\frac{1}{p}+\frac{1}{p^2}e^{-p}-\frac{1}{p^2}.$$

Пример 2

Найти изображение функции

$$f(t) = 2 + \frac{1}{3}e^{-2t} + 4\cos 3t.$$

Решение

Пусть $f(t) = F(p)$.

Тогда

$$F(p) = 2L(1(t)) + \frac{1}{3}L\left(e^{-2t}\right) + 4L(\cos 3t) = 2 \cdot \frac{1}{p} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{p+2} + 4 \cdot \frac{p}{p^2+9}.$$

Пример 3

Найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p) = \frac{6}{p} - \frac{5p}{p^2+4} + \frac{2}{p-3}.$$

Решение

$$f(t) = 6 - 5\cos 2t + 2e^{3t}.$$

Пример 4

Найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p) = \frac{3}{p^2+25} - \frac{2}{p^2+25} = 3 \cdot \frac{p}{p^2+25} + \frac{2}{5}\frac{5}{p^2+25}.$$

Тогда

$$f(t) = 3\cos 5t + \frac{2}{5}\sin 5t.$$

5. Теорема смещения

Если $f(t) = F(p)$, a – любое действительное или комплексное число, то

$$e^{at} f(t) = F(p-a).$$

Доказательство

$$L\left(e^{at} f(t)\right) = \int_0^\infty e^{at} f(t) e^{-pt} dt = \int_0^\infty f(t) e^{-(p-a)t} dt = F(p-a)$$

при $\mathrm{Re}(p-a) > S_0$.

С помощью этой теоремы находим изображения функций:

$$e^{at} \sin \omega t = \frac{\omega}{(p-a^2)+\omega^2}, \quad e^{at} sh\omega t = \frac{\omega}{(p-a^2)-\omega^2},$$

при $\mathrm{Re}(p-a) > 0$ *при* $\mathrm{Re}(p-a) > \omega$;

$$e^{at} \cos \omega t = \frac{p-a}{(p-a^2)+\omega^2}, \quad e^{at} ch\omega t = \frac{p-a}{(p-a^2)-\omega^2},$$

при $\mathrm{Re}(p-a) > 0$ *при* $\mathrm{Re}(p-a) > \omega$.

6. Дифференцирование изображения

Если $f(t) = F(p)$, то $t^n f(t) = (-1)^n F^{(n)}(p)$.

Доказательство

Функция $F(p) = \int_0^\infty f(t)\, e^{-pt} dt$ является аналитической. Ее производные $F^{(n)}(p)$ по переменной p находятся под знаком интеграла Лапласа

$$F'(p) = \int_0^\infty f(t)\, e^{-pt} \cdot (-t)\, dt,$$

из этого равенства следует, что $tf(t) = -F'(p)$.

Дифференцируя еще раз, получим

$$F''(p) = \int_0^\infty f(t)\, e^{-pt} \cdot t^2 dt,$$

откуда

$$t^2 f(t) = F''(p).$$

Дифференцируя n раз, получим

$$t^n f(t) = (-1)^n F^{(n)}(p).$$

7. Изображения функций t^n, $t^n e^{at}$

Известно, что $1(t) = \frac{1}{p}$, тогда $t \cdot 1(t) = -\left(\frac{1}{p}\right)'$ или $t = \frac{1}{p^2}$. Аналогично $t^2 = \frac{2}{p^3}$, при любом n получаем $t^n = \frac{n!}{p^{n+1}}$.

Применяя теорему смещения, находим

$$t^n e^{at} = \frac{n!}{(p-a)^{n+1}} \quad \text{при} \quad \operatorname{Re}(p-a) > 0.$$

Пример 1

Найти изображение функции

$$f(t) = 2t^3 - \frac{1}{5} sh\frac{t}{2} + t^4 e^{-5t}.$$

Решение

Пусть $f(t) = F(p)$.

Тогда

$$F(p) = 2 \cdot \frac{3!}{p^4} - \frac{1}{5} \cdot \frac{\frac{1}{2}}{p^2 - \frac{1}{4}} + \frac{4!}{(p+5)^5}$$

или

$$F(p) = \frac{12}{p^4} - \frac{1}{10\left(p^2 - \frac{1}{4}\right)} + \frac{24}{(p+5)^5}.$$

Пример 2

Найти изображение функции

$$g(t) = 3e^{-t}\cos 2t + \frac{7}{2}e^{4t} + t\sin 3t.$$

Решение

Пусть $g(t) = G(p)$, тогда

$$G(p) = 3\cdot\frac{p+1}{(p+1)^2+4} + \frac{7}{2}\cdot\frac{1}{p-4} - \left(\frac{3}{p^2+9}\right) =$$

$$= \frac{3(p+1)}{(p+1)^2+4} + \frac{7}{2(p-4)} + \frac{6p}{(p^2+9)^2}.$$

Пример 3

Найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p) = \frac{4p-3}{p^2+5p-1}.$$

Решение

Преобразуем $F(p)$, выделяя полный квадрат по p в знаменателе дроби

$$p^2+5p-1 = \left(p^2+2\cdot\frac{5}{2}p+\frac{25}{4}\right) - \frac{25}{4} - 1 = \left(p+\frac{5}{2}\right)^2 - \frac{29}{4}.$$

Тогда

$$F(p)=\frac{4\left(p+\frac{5}{2}\right)-10-3}{\left(p+\frac{5}{2}\right)^2-\frac{29}{4}}$$

или

$$F(p)=4\cdot\frac{4p+\frac{5}{2}}{\left(p+\frac{5}{2}\right)^2-\frac{29}{4}}-13\cdot\frac{2}{\sqrt{29}}\frac{\frac{\sqrt{29}}{2}}{\left(p+\frac{5}{2}\right)^2-\frac{29}{4}}.$$

Используя известные изображения, находим искомый оригинал

$$f(t)=4e^{-\frac{5}{2}t}\cdot ch\frac{\sqrt{29}}{2}t-\frac{26}{\sqrt{29}}e^{-\frac{5}{2}t}\cdot sh\frac{\sqrt{29}}{2}t.$$

Пример 4

Найти оригинал $x(t)$ для изображения

$$X(p)=\frac{6}{p+2}-\frac{3}{(p-4)^3}+\frac{2p-1}{p^2-3}.$$

Решение

$$X(p)=6\cdot\frac{1}{p-(-2)}-\frac{3}{2}\frac{2!}{(p-4)^{2+1}}+2\cdot\frac{p}{p^2-3}-\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{p^2-3}.$$

Используя табличные изображения, находим оригинал

$$x(t)=6e^{-2t}-\frac{3}{2}t^2e^{4t}+2ch\sqrt{3}t-\frac{1}{\sqrt{3}}sh\sqrt{3}t\,.$$

Самостоятельная работа № 1

Вариант 1

1) найти изображение функции

$$f(t)=\frac{1}{5}-3\sin\frac{2t}{3}+6ch5t-4t;$$

2) найти изображение функции

$$g(t)=\frac{1}{4}e^{-2t}\cos 5t-\frac{1}{6}tsh2t;$$

3) найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p)=\frac{6}{p+2}-\frac{2}{p^3}+\frac{2-p}{p^2+5}.$$

Вариант 2

1) найти изображение функции

$$f(t)=5t^2+\frac{1}{2}-4sh\frac{t}{3}+8\cos 3t;$$

2) найти изображение функции

$$g(t)=3e^{-t}\sin 2t-\frac{1}{10}tch4t;$$

3) найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p)=\frac{5p+1}{p^2-2}+\frac{3}{p^4}-\frac{8}{(p+1)^2}.$$

Самостоятельная работа № 2

Вариант 1

1) найти, используя интеграл Лапласа, изображение функции

$$g(t)=\begin{cases}0, & t<0,\\ 2t+3, & 0\le t\le 1,\\ 0, & t>1;\end{cases}$$

2) найти оригинал $x(t)$ для изображения

$$X(p)=\frac{3-4p}{p^2+3p+4}-\frac{2}{(p-3)^3}.$$

Вариант 2

1) найти оригинал $y(t)$ для изображения

$$Y(p)=\frac{1+6p}{p^2+p+3}-\frac{7}{(p+5)^4};$$

2) используя интеграл Лапласа, найти изображение функции

$$f(t)=\begin{cases}0, & t<0,\\ 3-t, & 0\le t\le 2,\\ 0, & t>2.\end{cases}$$

8. Теорема запаздывания

Если $f(t)=F(p)$, то $f(t-\tau)=e^{-\tau p}F(p)$, τ - любое положительное число.

Доказательство

Известно, что $f(t)=0$ при всех $t<0$. При $t<\tau$ аргумент $t-\tau<0$, поэтому $f(t-\tau)=0$. Это значит, что оригинал включается с запаздыванием на τ. График функции $f(t-\tau)$ получается из графика $f(t)$ смещением последнего вправо на расстояние τ. С помощью единичной функции запаздывающую функцию $f(t-\tau)$ можно записать и так: $f(t-\tau)\cdot 1(t-\tau)$, так как $1(t-\tau)=0$ при $t<\tau$ и $1(t-\tau)=1$ при $t>\tau$.

Найдем изображение $f(t-\tau)$:

$$L\big(f(t-\tau)\big)=\int_0^{\infty}e^{-pt}f(t-\tau)\,dt=\int_0^{\tau}e^{-pt}f(t-\tau)\,dt+\int_{\tau}^{\infty}e^{-pt}f(t-\tau)\,dt.$$

Здесь $\int_0^{\tau}e^{-pt}f(t-\tau)\,dt=0$, так как $f(t-\tau)=0$ при $t<\tau$.

Во втором интеграле сделаем замену, полагая $t-\tau=u$, тогда $t=u+\tau;\ dt=du,$ при $t=\tau\ \ u=0$, при $t=\infty$ и $u=\infty$.

Таким образом,

$$L\big(f(t-\tau)\big)=\int_{\tau}^{\infty}e^{-pt}f(t-\tau)\,dt=\int_0^{\infty}e^{-p(u+\tau)}f(u)\,du=$$

,

$$=e^{-\tau p}\int_0^{\infty}e^{-pu}f(u)\,du=e^{-\tau p}F(p),$$

что и требовалось доказать.

Пример 1

$1(t)=\frac{1}{p}$. Тогда $1(t-\tau)=e^{-\tau p}\cdot\frac{1}{p}$.

Пример 2

Найти изображение функции $f(t)=(t-3)^3\cdot 1(t-3)$.

Решение

Известно, что $t^3=\frac{3!}{p^4}$. В нашем случае запаздывание на $\tau=3$. Поэтому $(t-3)^3 1(t-3)=e^{-3p}\cdot\frac{3!}{p^4}$.

Пример 3

Найти изображение функции $f(t)=\begin{cases}0, & t<0,\\ t+1, & 0<t<1,\\ 3t, & 1<t<4,\\ 0, & t>4.\end{cases}$

Решение

Пусть $f(t)=F(p)$.

Искомое изображение $F(p)$ найдем двумя способами. Сначала по определению с помощью интеграла Лапласа.

$$F(p)=\int_0^{\infty}e^{-pt}f(t)\,dt=\int_0^{1}(t+1)\,e^{-pt}dt+3\int_1^{4}te^{-pt}dt=$$

$$=(t+1)\left(-\frac{1}{p}\right)e^{-pt}\Big|_0^1-\int_0^1-\frac{1}{p}e^{-pt}dt+3t\left(-\frac{1}{p}\right)e^{-pt}\Big|_1^4-3\int_1^4-\frac{1}{p}e^{-pt}dt=$$

$$=-\frac{2}{p}e^{-p}+\frac{1}{p}-\frac{1}{p^2}e^{-pt}\Big|_0^1-\frac{12}{p}e^{-4p}+\frac{3}{p}e^{-p}-\frac{3}{p^2}e^{-pt}\Big|_1^4=$$

$$=-\frac{2}{p}e^{-p}+\frac{1}{p}-\frac{1}{p^2}e^{-p}+\frac{1}{p^2}-\frac{12}{p}e^{-4p}+\frac{3}{p}e^{-p}-\frac{3}{p^2}e^{-4p}+\frac{3}{p^2}e^{-p}=$$

$$=\frac{1}{p}+\frac{1}{p^2}+\left(\frac{1}{p}+\frac{2}{p^2}\right)e^{-p}-\left(\frac{3}{p^2}+\frac{12}{p}\right)e^{-4p}.$$

А теперь найдем $F(p)$ с помощью теоремы запаздывания. Для этого запишем наш оригинал $f(t)$ одним аналитическим выражением с помощью единичной функции.

При $t<0$ $\quad f(t)=0.$ В момент $t=0$ «включается» функция $t+1$; в момент $t=1$ она «снимается» и «включается» функция $3t$, которая «снимается» в момент $t=4.$ Поэтому

$$f(t)=(t+1)\cdot 1(t)-(t+1)\cdot 1(t-1)+3t\cdot 1(t-1)-3t\cdot 1(t-4)=$$
$$=(t+1)\cdot 1(t)+(2t-1)\cdot 1(t-1)-3t\cdot 1(t-4)=$$
$$=(t+1)\cdot 1(t)+(2(t-1)+1)\cdot 1(t-1)-(3(t-4)+12)\cdot 1(t-4).$$

Применяя линейность преобразования Лапласа и теорему запаздывания, получим искомое изображение

$$F(p)=\frac{1}{p^2}+\frac{1}{p}+\left(\frac{2}{p^2}+\frac{1}{p}\right)e^{-p}-\left(\frac{3}{p^2}+\frac{12}{p}\right)e^{-4p}.$$

Пример 4

Найти оригинал $f(t)$ для изображения

$$F(p)=\frac{5}{(p+2)^4}e^{-p}+\frac{4}{p^3}-\frac{8}{p^2+7}e^{-2p}.$$

Решение

Находим оригинал для каждого слагаемого:

$$\frac{5}{(p+2)^4}=5\,\frac{1}{(p+2)^{3+1}}=\frac{5}{3!}\cdot\frac{3!}{(p-(-2))^{3+1}}=\frac{5}{6}e^{-2t}\cdot t^3,$$

$$\frac{4}{p^3}=4\,\frac{1}{p^{2+1}}=\frac{4}{2!}\cdot\frac{2!}{p^{2+1}}=2t^2,$$

$$-\frac{8}{p^2+7}=-\frac{8}{\sqrt{7}}\cdot\frac{\sqrt{7}}{p^2+7}=-\frac{8}{\sqrt{7}}\sin\sqrt{7}\,t,$$

$$\frac{5}{(p+2)^4}\cdot e^{-p}=\frac{5}{6}\cdot e^{-2(t-1)}\cdot(t-1)^3\cdot 1(t-1),$$

оригинал с запаздыванием на $\tau=1.$

$$\frac{4}{p^3}=2t^2$$

$$-\frac{8}{p^2+7}e^{-2p}=-\frac{8}{\sqrt{7}}\sin\sqrt{7}(t-2)\cdot 1(t-2)$$

оригинал с запаздыванием на $\tau=2.$

Суммируя оригиналы для каждого слагаемого, находим

$$f(t)=\frac{5}{6}e^{-2(t-1)}\cdot(t-1)^3\cdot 1(t-1)+2t^2-\frac{8}{\sqrt{7}}\sin\sqrt{7}\,(t-2)\cdot 1(t-2).$$

Самостоятельная работа № 3

Вариант 1

1) найти оригинал для изображения

$$F(p)=\frac{(5-3p)e^{-p}}{2p^2+5}+\frac{7e^{-3p}}{2p^2+4p+1}-\frac{3}{(p+6)^4}.$$

2) найти изображение функции

$$x(t)=5\sin\frac{2t}{5}-2+\frac{1}{4}(t-2)e^{-2(t-2)}ch\frac{3}{2}(t-2)\cdot 1(t-2).$$

Вариант 2

1) найти изображение функции

$$y(t)=7te^t\cos\frac{5t}{4}-\frac{1}{6}(t-4)^2\cdot e^{-5(t-4)}\cdot 1(t-4)+3ch\frac{t}{4}.$$

2) найти оригинал для изображения

$$G(p)=\frac{8p}{p^2+2p+6}-\frac{(2-p)e^{-2p}}{4p^2+5}+\frac{10e^{-5p}}{(p-3)^3}.$$

9. Дифференцирование оригинала

Теорема

Если $f(t)$ непрерывно дифференцируема на $(0,\infty)$, $f'(t)$ принадлежит множеству оригиналов и $f(t)=F(p)$, то $f'(t)=pF(p)-f(0)$.

Доказательство

$$L\,(f'(t)) = \int_0^{\infty} f(t)\,e^{-pt}dt.$$

Интегрируя по частям, положим

$$u = e^{-pt},\quad du = -pe^{-pt}dt,\quad d\mathrm{v} = f'(t)dt,\ \mathrm{v} = f(t).$$

Получаем

$$f'(t) = (f(t)\ \ e^{-pt})\Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} f(t)\,e^{-pt}(-p)dt.$$

Так как $\operatorname{Re} p = x > s_0$, то $\left|f(t)\,e^{-pt}\right| \le Me^{-(x-s_0)t}$, поэтому $\lim\limits_{t\to\infty} f(t)\,e^{-pt} = 0$, а $\int\limits_0^{\infty} f(t)\,e^{-pt}dt = F(p)$.

Следовательно, $f'(p) = pF(p) - f(0)$.

Теорема доказана.

Следствие

Если $f''(t),\ f'''(t),\ldots,\ f^{(n)}(t)$ - оригиналы, то находим:

$$f''(t) = p(pF(p) - f(0)) - f'(0)$$

или

$$f''(t) = p^2F(p) - pf(0)) - f'(0).$$

Аналогично, для производной n–го порядка имеем

$$f^{(n)}(t) = p^nF(p) - p^{n-1}f(0) - p^{n-2}f'(0) - \ldots - pf^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0).$$

Для практических приложений полученное свойство является очень важным. Оно показывает, что сложная операция дифференцирования в пространстве оригиналов заменяется в пространстве изоб-

ражений элементарным действием – умножением изображения на степень аргумента p с добавлением многочлена, коэффициентами которого являются начальные значения оригинала. Это очень удобно для решения дифференциальных уравнений операционным методом, так как начальные условия здесь учитываются автоматически.

10. Интегрирование оригинала

Теорема

Если $f(t) = F(p),$ то $\int_0^t f(u)\,du = \frac{F(p)}{p},$ т. е. интегрированию оригинала в пределах от 0 до t соответствует деление изображения на p.

Доказательство

$f(t)$ принадлежит множеству оригиналов, тогда и $\int_0^t f(u)\,du$ тоже является оригиналом. Обозначим $\int_0^t f(u)\,du = g(t),$ пусть $g(t) = G(p).$ $g'(t) = (\int_0^t f(u)\,du)' = f(t),$ $g(0) = 0,$ $L(g'(t) = L(f(t))$.

Поэтому $pG(p) = F(p),$ откуда $G(p) = \frac{F(p)}{p}$. Значит, $\int_0^t f(u)\,du = \frac{F(p)}{p}$, что и требовалось доказать.

11. Свёртка оригиналов, ее свойства. Теорема умножения

Пусть $f(t)$ и $g(t)$ - оригиналы. Свёртку этих функций обозначают $f * g$. Она равна

$$f * g = \int_0^t f(u)g(t-u)du.$$

Свёртка $f * g$ обладает свойствами:

1) переместительным

$$f * g = g * f \text{ или}$$

$$\int_0^t f(u)g(t-u)du = \int_0^t g(u)f(t-u)du;$$

2) сочетательным

$$(f * g)\varphi = f\ (g * \varphi),$$

в силу, которого свёртка нескольких функций всегда даёт одинаковый результат, независимо от того, в каком порядке выполняется свёртывание;

3) распределительным

$$(f + g) * \varphi = (f * \varphi) + (g * \varphi).$$

Свёртка оригиналов $f(t)$ и $g(t)$ тоже является оригиналом, причём показатель роста свёртки $f * g$ равен наибольшему из показателей роста функций $f(t)$ и $g(t)$.

Пример

Найти свёртку функций $f(t)=t, \quad g(t)=e^{at}$.

Решение

$$f*g=t*e^{at}=\int_0^t ue^{a(t-u)}du=e^{at}\int_0^t ue^{-au}du=$$

$$=e^{at}\left(-u\frac{e^{-au}}{a}\Big|_0^t-\int_0^t-\frac{1}{a}e^{-au}du\right)=e^{at}\left(-\frac{t}{a}e^{-at}+\frac{1}{a}\left(-\frac{1}{a}\right)e^{-au}\Big|_0^t\right)=$$

$$=e^{at}\left(-\frac{t}{a}e^{-at}-\frac{1}{a^2}e^{-at}+\frac{1}{a^2}\right)=-\frac{t}{a}-\frac{1}{a^2}+\frac{1}{a^2}e^{at}.$$

В другом порядке

$$g*t=e^{at}*t=\int_0^t e^{au}(t-u)du=\int_0^t te^{au}du-\int_0^t ue^{au}du.$$

Произведя интегрирование по частям во втором интеграле, получим

$$e^{at}*t=t\frac{e^{au}}{a}\Big|_0^t-u\frac{1}{a}e^{au}\Big|_0^t+\int_0^t\frac{1}{a}e^{au}du=$$

$$=t\frac{e^{at}}{a}-\frac{t}{a}-\frac{t}{a}e^{at}+\frac{1}{a^2}e^{at}-\frac{1}{a^2}=-\frac{t}{a}+\frac{1}{a^2}e^{at}-\frac{1}{a^2}.$$

Получили

$$f*g=g*f.$$

Теорема умножения

Если $f(t)=F(p)$ и $g(t)=G(p)$, то $f*g=F(p)\cdot G(p)$, т. е. при свертывании оригиналов изображения перемножаются.

Доказательство

$$L(f*g)=\int_0^{\infty}e^{-pt}dt\int_0^{t}f(u)g(t-u)du=$$

$$=\int_0^{\infty}f(u)du\int_u^{\infty}e^{pt}g(t-u)dt,$$

изменим порядок интегрирования.

Во внутреннем интеграле проведём замену переменной, положив $t-u=z$, тогда $t=u+z,\quad dt=dz$, при $t=u\quad z=0$, при $t=\infty\quad z=\infty$, получим

$$L(f*g)=\int_0^{\infty}f(u)du\int_0^{\infty}e^{-p(u+z)}g(z)dz=$$

$$=\int_0^{\infty}f(u)e^{-pu}du\int_0^{\infty}g(z)e^{-pz}dz=F(p)\cdot G(p),$$

что и требовалось доказать.

Теорема умножения имеет важное значение для приложений, так как позволяет находить оригинал, соответствующий произведению

двух изображений $F(p)$ и $G(p)$, если известны оригиналы сомножителей $f(t)$ и $g(t)$.

Пример

Найти оригинал для изображения $F(p)=\dfrac{1}{p^2(p-a)}$.

Решение

Изображение $F(p)$ можно подставить в виде произведения двух функций

$$F(p)=\frac{1}{p^2}\cdot\frac{1}{p-a}.$$

Пусть $F(p)=f(t)$.

Так как $\dfrac{1}{p^2}=t,\quad \dfrac{1}{p-a}=e^{at}$, то по теореме умножения искомый оригинал $f(t)=t*e^{at}$. Эту свёртку в предыдущем примере мы нашли, поэтому

$$f(t)=-\frac{t}{a}+\frac{1}{a^2}e^{at}-\frac{1}{a^2}.$$

12. Интеграл Дюамеля

Частным случаем теоремы умножения изображений является формула Дюамеля, часто применяемая для нахождения оригиналов.

Найдем оригинал, соответствующий произведению $pF(p)\,G(p)$, где $f(t)=F(p),\quad g(t)=G(p)$.

Это произведение представим в виде

$$pF(p)\,G(p)=\big(pF(p)-f(0)\big)G(p)+f(0)G(p).$$

Так как $pF(p)-f(0)=f'(t)$, то по теореме умножения изображений $\big(pF(p)-f(0)\big)G(p)=f'(t)*g(t)$, а $f(0)G(p)=f(0)\cdot g(t)$.

Теперь можно записать формулу Дюамеля

$$pF(p)\,G(p)=\int_0^t f'(u)\,g(t-u)\,du+f(0)\,g(t).$$

Правую часть этого соотношения называют интегралом Дюамеля.

Если учесть свойство свёртки $f*g=g*f$, то из последнего равенства получим

$$pF(p)\,G(p)=\int_0^t g(u)\,f'(t-u)\,du+f(0)\,g(t).$$

Аналогично, если $pF(p)\,G(p)=\big(pG(p)-g(0)\big)F(p)+g(o)F(p)$, получим

$$pF(p)\,G(p)=\int_0^t g'(u)\,f(t-u)\,du+g(0)\,f(t),$$

$$pF(p)\,G(p)=\int_0^t f(u)\,g'(t-u)\,du+g(0)\,f(t).$$

Пример

Найти оригинал для функции $\dfrac{p\omega}{(p-a)(p^2+\omega^2)}$.

Решение

Представим заданную функцию в виде произведения

$$p\ \frac{\omega}{p^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{p-a}.$$

Имеем

$$F(p)=\frac{\omega}{p^2+\omega^2}=\sin\omega t=f(t);\quad G(p)=\frac{1}{p-a}=e^{at}=g(t),$$
$$f(0)=0,\quad f'(t)=\omega\cos\omega t.$$

Тогда запишем

$$pF(p)G(p)=p\cdot\frac{\omega}{p^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{p-a}=\int_0^t f'(u)\,g(t-u)\,du=$$

$$=\int_0^t\omega\cos\omega u\cdot e^{a(t-u)}du=\omega e^{at}\int_0^t\cos\omega u\cdot e^{-au}du.$$

Дважды интегрируя по частям последний интеграл, получим

$$\omega e^{at}\int_0^t\cos\omega u\,e^{-au}du=\frac{1}{a^2+\omega^2}\left(\omega^2\sin\omega t+a\omega\left(e^{at}-\cos\omega t\right)\right).$$

Следовательно,

$$\frac{p\omega}{\left(p^2+\omega^2\right)(p-a)}=\frac{\omega^2\sin\omega t+a\omega\left(e^{at}-\cos\omega t\right)}{a^2+\omega^2}\ .$$

13. Нахождение оригинала по изображению

При нахождении оригинала по его изображению широко пользуются свойствами преобразования Лапласа и таблицей соответствий между оригиналами и их изображениями:

Таблица

Соответствия между оригиналами и их изображениями

№ п/п	Оригинал	Изображение
1	$f(t)$	$F(p)=\int_0^{\infty} f(t)e^{-pt}dt$
2	$1(t)$	$\frac{1}{p}$
3	t^n	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
4	e^{at}	$\frac{1}{p-a}$
5	$t^n e^{at}$	$\frac{n!}{(p-a)^{n+1}}$
6	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{p^2+\omega^2}$
7	$\cos \omega t$	$\frac{p}{p^2+\omega^2}$
8	$sh\omega t$	$\frac{\omega}{p^2-\omega^2}$
9	$ch\omega t$	$\frac{p}{p^2-\omega^2}$

Окончание таблицы

10	$e^{at}\sin\omega t$	$\frac{\omega}{(p-a)^2+\omega^2}$
11	$e^{at}\cos\omega t$	$\frac{p-a}{(p-a)^2+\omega^2}$
12	$e^{at}sh\omega t$	$\frac{\omega}{(p-a)^2-\omega^2}$
13	$e^{at}ch\omega t$	$\frac{p-a}{(p-a)^2-\omega^2}$
14	$t\sin\omega t$	$\frac{2p\omega}{(p^2+\omega^2)^2}$
15	$t\cos\omega t$	$\frac{p^2-\omega^2}{(p^2+\omega^2)^2}$
16	$t\,sh\omega t$	$\frac{2p\omega}{(p^2-\omega^2)^2}$
17	$t\,ch\omega t$	$\frac{p^2+\omega^2}{(p^2-\omega^2)^2}$
18	$te^{at}\sin\omega t$	$\frac{2\omega(p-a)}{((p-a)^2+\omega^2)^2}$
19	$te^{at}\cos\omega t$	$\frac{(p-a)^2-\omega^2}{((p-a)^2+\omega^2)^2}$
20	$\cos^2\omega t$	$\frac{p^2+2\omega^2}{p(p^2+4\omega^2)}$
21	$\sin^2\omega t$	$\frac{2\omega^2}{p(p^2+4\omega^2)}$

Пример

Найти оригиналы для следующих изображений:

1) $F(p)=\dfrac{1}{p^5}$.

Решение

Используем соотношение 3 из таблицы, откуда $\dfrac{1}{p^{n+1}}=\dfrac{t^n}{n!}$, поэтому

$$\frac{1}{p^5}=\frac{t^4}{4!}=\frac{1}{24}t^4.$$

2) $F(p)=\dfrac{3}{(p+2)^4}$.

Решение

Из соотношения 5

$$\frac{t^n e^{at}}{n!}=\frac{1}{(p-a)^{n+1}}\text{ , здесь } a=-2,\quad n=3,$$

поэтому

$$\frac{3}{(p+2)^4}=3\cdot\frac{t^3e^{-2t}}{3!}=\frac{1}{2}t^3e^{-2t}.$$

3) $F(p)=\dfrac{5}{p^2+4}$.

Решение

Из соотношения 6

$$\frac{\omega}{p^2+\omega^2}=\sin\omega t,$$

здесь $\omega^2=4,\quad \omega=2$, поэтому

$$\frac{5}{p^2+4}=\frac{5}{2}\cdot\frac{2}{p^2+4}=\frac{5}{2}\sin 2t.$$

4) $F(p)=\dfrac{7p}{3p^2+5}.$

Решение

Из соотношения 7

$$\frac{p}{p^2+\omega^2}=\cos\omega t$$

$$\frac{7p}{3p^2+5}=\frac{7p}{3\left(p^2+\dfrac{5}{3}\right)}=\frac{7}{3}\cdot\frac{p}{p^2+\dfrac{5}{3}}=\frac{7}{3}\cos\sqrt{\frac{5}{3}}t\ .$$

5) $F(p)=\dfrac{3}{(p-2)^2-5}.$

Решение

Из соотношения 10

$$\frac{\omega}{(p-a)^2-\omega^2}=e^{at}sh\omega t$$

$$\frac{3}{(p-2)^2-5}=\frac{3}{\sqrt{5}}\cdot\frac{\sqrt{5}}{(p-2)^2-5}=\frac{3}{\sqrt{5}}e^{2t}sh\sqrt{5}t$$

$$\omega=\sqrt{5},\quad a=2.$$

6) $F(p)=\dfrac{p+5}{p^2-4p+7}$.

Решение

$$p^2-4p+7=\left(p^2-4p+4\right)+3=(p-2)^2+3$$

$$\frac{p+5}{p^2-4p+7}=\frac{p+5}{(p-2)^2+3}.$$

Из соотношений 11 и 10

$$\frac{p-a}{(p-a)^2+\omega^2}=e^{at}\cos\omega t,\quad \frac{\omega}{(p-a)^2+\omega^2}=e^{at}\sin\omega t$$

$$\frac{p+5}{(p-2)^2+3}=\frac{(p-2)+7}{(p-2)^2+3}=\frac{p-2}{(p-2)^2+3}+\frac{7}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{(p-2)^2+3}=$$

$$=e^{2t}\cos\sqrt{3}t+\frac{7}{\sqrt{3}}e^{2t}\sin\sqrt{3}t.$$

7) $F(p)=\dfrac{2e^{-p}}{p^2+9}$.

Решение

Из соотношения 6

$$\frac{\omega}{p^2+\omega^2}=\sin\omega t,\quad \frac{2}{p^2+9}=\frac{2}{3}\cdot\frac{3}{p^2+9}=\frac{2}{3}\sin 3t.$$

Применяя теорему запаздывания, получим

$$\frac{2e^{-p}}{p^2+9}==\frac{2}{3}\sin 3(t-1)\cdot 1(t-1)$$

(при умножении изображения на $e^{-\tau p}$ оригинал запаздывает на τ единиц, в нашем случае $\tau=1$).

Если изображение оригинала является правильной рациональной дробью, выраженной отношением двух многочленов $F(p)=\dfrac{\Phi(p)}{G(p)}$ (степень числится меньше степени знаменателя), то эту дробь разлагают сначала на сумму простейших дробей, затем для каждой полученной дроби находят соответствующий оригинал.

Пример

Найти оригинал для изображения $F(p)=\dfrac{3p^2-2}{(p+1)^2(p^2+1)}$.

Решение

Изображение $F(p)$ является правильной рациональной дробью. Разложим эту дробь на сумму простейших дробей

$$\frac{3p^2-2}{(p+1)^2(p^2+1)}=\frac{A}{(p+1)^2}+\frac{B}{p+1}+\frac{Cp+D}{p^2+1}.$$

Приводя в правой части к общему знаменателю и приравнивая числители дробей слева и справа, получим тождество, из которого нужно получить систему из четырех уравнений для определения A, B, C, D.

$$3p^2-2=A(p^2+1)+B(p+1)(p^2+1)+(Cp+D)(p+1)^2$$

$$\begin{array}{c|l} p=-1 & 1=2A,\ A=\frac{1}{2} \\ p^3: & 0=B+C \\ p: & 0=B+2D+C \\ p=0 & -2=A+B+D \end{array}$$

$$B+C=0$$

$$B+2D+C=0,\ \textit{отсюда}\ D=0$$

$$B=-2-\frac{1}{2}=-\frac{5}{2}$$

$$C=-B=\frac{5}{2}$$

Тогда

$$F(p)=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{(p+1)^2}-\frac{5}{2}\cdot\frac{1}{p+1}+\frac{5}{2}\cdot\frac{p}{p^2+1}.$$

Применяя свойство линейности преобразования Лапласа и соотношения 5, 4 и 7 из таблицы, получим искомый оригинал

$$f(t)=\frac{1}{2}te^{-t}-\frac{5}{2}e^{-t}+\frac{5}{2}\cos t.$$

Если изображение $F(p)=\dfrac{\Phi(p)}{G(p)}$ является правильной рациональной дробью и $p_1, p_2, ..., p_n$ - полюсы $F(p)$, то для нахождения оригинала $f(t)$ применяют теорию вычетов, а именно:

$$F(p)=f(t)=\sum_{k=1}^{n} res\left[F(p)e^{pt};\, p_k\right],$$

где $res\left[F(p)e^{pt};\, p_k\right]$ - вычет функции $F(p)e^{pt}$ относительно полюса p_k.

Пример

С помощью вычетов найти оригинал для изображения $F(p)=\dfrac{3p^2-2}{(p+1)^2(p^2+1)}$.

Решение

Для $F(p)$ $p=-1$ - полюс второго порядка, $p=\pm i$ - простые полюсы.

Тогда

$$f(t)=res\left[F(p)e^{pt};-1\right]+res\left[F(p)e^{pt};i\right]+res\left[F(p)e^{pt};-i\right].$$

Найдем вычеты.

$$res\left[F(p)e^{pt};-1\right]=\lim_{p\to -1}\left((p+1)^2\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{(p+1)^2(p^2+1)}\right)'=\lim_{p\to -1}\left(\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{p^2+1}\right)'=$$

$$=\lim_{p\to -1}\frac{1}{(p^2+1)^2}\Big(\big(p^2+1\big)\big(6pe^{pt}+\big(3p^2-2\big)e^{pt}\cdot t\big)-\big(3p^2-2\big)e^{pt}\cdot 2p\Big)=$$

$$=\frac{1}{4}\Big(2\big(-6e^{-t}+e^{-t}\cdot t\big)-e^{-t}(-2)\Big)=\frac{1}{4}\Big(-12e^{-t}+2te^{-t}+2e^{-t}\Big)=$$

$$=\frac{1}{4}\Big(-10e^{-t}+2te^{-t}\Big)=\frac{1}{2}te^{-t}-\frac{5}{2}e^{-t}.$$

$$res\left[F(p)e^{pt};i\right]=\lim_{p\to i}(p-i)\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{(p+1)^2(p-i)(p+i)}=\lim_{p\to i}\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{(p+1)^2(p+i)}=$$

$$=\frac{-5e^{it}}{(-1+2i+1)\,2i}=\frac{-5e^{it}}{-4}=\frac{5}{4}(\cos t+i\sin t)=\frac{5}{4}\cos t+i\frac{5}{4}\sin t.$$

$$res\left[F(p)e^{pt};-i\right]=\lim_{p\to -i}(p+i)\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{(p+1)^2(p-i)(p+i)}=\lim_{p\to -i}\frac{(3p^2-2)e^{pt}}{(p+1)^2(p-i)}=$$

$$=\frac{-5e^{-it}}{-2i\,(-2i)}=\frac{-5e^{-it}}{-4}=\frac{5}{4}(\cos t-i\sin t)=\frac{5}{4}\cos t-\frac{5}{4}i\sin t.$$

Складывая вычеты, получим искомый оригинал

$$f(t)=\frac{1}{2}te^{-t}-\frac{5}{2}e^{-t}+\frac{5}{2}\cos t.$$

14. Применение операционного исчисления к решению линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

Задача Коши

Требуется найти частное решение уравнения

$$a_0 y^{(n)}(t) + + a_1 y^{(n-1)}(t) + \ldots + a_{n-1} y'(t) + a_n y(t) = f(t)\ (a_0 \neq 0),$$

удовлетворяющее условиям: $y(0) = y_0, \quad y'(0) = y_1, \ldots, y^{(n-1)}(0) = y_{n-1}.$

Операционным методом (с помощью преобразования Лапласа) эта задача может быть решена в предположении, что функция $f(t)$, искомая функция $y(t)$ и ее производные до *n*-го порядка включительно, являются оригиналами.

Пусть $y(t) = Y(p), \quad f(t) = F(p),$ тогда по теореме о дифференцировании оригинала имеем

$$y'(t) = pY(p) - y^0; \quad y''(t) = p^2 Y(p) - py_0 - y_1, \ldots,$$

$$y^{(n)}(t) = p^n Y(p) - p^{n-1} y_0 - \ldots py_{n-2} - y_{n-1}.$$

Применяя линейность преобразования Лапласа, перейдем в заданном дифференциальном уравнении от оригиналов к изображениям:

$$a_0(p^n Y(p) - p^{n-1} y_0 - \ldots - py_{n-2} - y_{n-1}) +$$
$$+ a_1(p^{n-1} Y(p) - p^{n-2} y_0 - \ldots - y_{n-2}) +$$
$$+ \ldots + a_{n-1}(pY(p) - y_0) + a_n Y(p) = F(p).$$

Полученное уравнение – это алгебраическое уравнение первой степени относительно $Y(p)$. Решая его, находим

$$Y(p) = \frac{F(p) + \Phi(p)}{\Psi(p)},$$

где

$$\Psi(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \ldots + a_n,$$

$$\Phi(p) = y_0(a_0 p^{n-1} + a_1 p^{n-1} + \ldots + a_{n-1}) +$$

$$+ y_1(a_0 p^{n-2} + a_1 p^{n-3} + \ldots + a_{n-2}) + \ldots +$$

$$+ y_{n-2}(a_0 p + a_1) + a_0 y_{n-1}.$$

$\Phi(p)$ - многочлен степени не выше, чем n-1, с коэффициентами, зависящими от начальных условий. Если все начальные значения равны нулю, то $\Phi(p) = 0$.

Далее, для найденного изображения $Y(p)$ находим оригинал $y(t)$, который и будет искомым частным решением дифференциального уравнения.

Преимущество операционного метода решения задачи Коши перед классическими методами состоит в том, что уравнение для $Y(p)$ является линейным алгебраическим и, следовательно, в математическом отношении более простым, чем исходное дифференциальное уравнение. Во-вторых, операционным методом сразу находится част-

ное решение, удовлетворяющее заданным начальным условиям, и не надо искать общее решение этого уравнения.

Пример 1

Решить уравнение $y''-4y=te^{-t}$ при начальных условиях $y(0)=2,\quad y'(0)=0.$

Решение

Пусть $y(t)=Y(p)$, тогда

$$y'(t)=pY(p)-y(0)=pY(p)-2,$$
$$y''(t)=p^2Y(p)-py(0)-y'(0)=p^2Y(p)-2p.$$

Переходим в уравнении к изображениям:

$$p^2Y(p)-2p-4Y(p)=\frac{1}{(p+1)^2},$$

решаем это уравнение

$$(p^2-4)Y(p)=\frac{1}{(p+1)^2}+2p;\quad (p^2-4)Y(p)=\frac{1+2p^3+4p^2+2p}{(p+1)^2}.$$

$$Y(p)=\frac{2p^3+4p^2+2p+1}{(p+1)^2(p^2-4)}\ \text{ или }\ Y(p)=\frac{2p^3+4p^2+2p+1}{(p+1)^2(p-2)(p+2)}.$$

Разложим полученную для $Y(p)$ правильную рациональную дробь на сумму простейших дробей.

$$\frac{2p^3+4p^2+2p+1}{(p-2)(p+2)(p+1)^2}=\frac{A}{p-2}+\frac{B}{p+2}+\frac{C}{(p+1)^2}+\frac{D}{p+1},$$

$$2p^3+4p^2+2p+1=A(p+2)(p+1)^2+B(p-2)(p+1)^2+$$

$$+C(p-2)(p+2)+D(p+1)(p-2)(p+2).$$

$$p=2 \qquad 16+16+4+1=A\cdot 36, \qquad 37=36A, \qquad A=\frac{37}{36}$$

$$p=-2 \qquad -16+16-4+1=B\cdot(-4), \qquad -3=-4B, \qquad B=\frac{3}{4}$$

$$p=-1 \qquad -2+4-2+1=C\cdot(-3), \qquad 1=-3C, \qquad C=-\frac{1}{3}$$

$$p^3: \quad 2=A+B+D, \quad D=2-A-B=2-\frac{37}{36}-\frac{3}{4}=\frac{72-37-27}{36}=\frac{8}{36}=\frac{2}{9}.$$

Тогда

$$Y(p)=\frac{37}{36}\cdot\frac{1}{p-2}+\frac{3}{4}\cdot\frac{1}{p+2}-\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{(p+1)^2}+\frac{2}{9}\cdot\frac{1}{p+1},$$

а искомое частное решение дифференциального уравнения есть

$$y(t)=\frac{37}{36}e^{2t}+\frac{3}{4}e^{-2t}-\frac{1}{3}te^{-t}+\frac{2}{9}e^{-t}.$$

Пример 2

Решить уравнение $x'''+2x'=4e^{-t}$ при начальных условиях $x(0)=x'(0)=x''(0)=0$.

Решение

Пусть $x(t) = X(p)$, тогда

$$x'(t) = pX(p) - x(0) = pX(p),$$

$$x'''(t) = p^3X(p) - p^2(x(0)) - px'(0) - x''(0) = p^3X(p),$$

$$4e^{-t} == \frac{4}{p+1}.$$

Переходим в дифференциальном уравнении к изображениям

$$p^3X(p) + 2pX(p) = \frac{4}{p+1},$$

$$(p^3 + 2p)X(p) = \frac{4}{p+1},$$

откуда

$$X(p) = \frac{4}{(p+1)(p^3+2p)} \text{ или } X(p) = \frac{4}{p(p+1)(p^2+2)}.$$

$$\frac{4}{p(p+1)(p^2+2)} = \frac{A}{p} + \frac{B}{p+1} + \frac{Cp+D}{p^2+2}$$

$$4 = A(p+1)(p^2+2) + Bp(p^2+2) + (Cp+D)p(p+1)$$

$p = 0$ $\quad 4 = 2A,$ $\quad A = \frac{4}{2} = 2$

$p = -1$ $\quad 4 = B\cdot(-3),$ $\quad B = \frac{4}{-3} = -\frac{4}{3}$

$p^3:$ $\quad 0 = A + B + C,$ $\quad C = -A - B = -2 + \frac{4}{3} = -\frac{2}{3}$

$p^2:$ $\quad 0 = A + D + C,$ $\quad D = -A - C = -2 + \frac{2}{3} = -\frac{4}{3}.$

Тогда

$$X(p) = 2 \cdot \frac{1}{p} - \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{p+1} - \frac{2}{3} \cdot \frac{p}{p^2+2} - \frac{4}{3\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{p^2+2}.$$

Искомое частное решение $x(t)$ есть

$$x(p) = 2 - \frac{4}{3}e^{-t} - \frac{2}{3} \cdot \cos\sqrt{2}\,t - \frac{4}{3\sqrt{2}}\sin\sqrt{2}\,t\,.$$

15. Решение систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами операционным методом

Системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами операционным методом решаются так же, как и одно уравнение. Отличие будет лишь в том, что вместо одного изображающего уравнения будем иметь систему таких уравнений, причем эта система в отношении изображений искомых функций будет линейной алгебраической.

Пример 1

Решить систему $\begin{cases} x' + 3x + y = 0 \\ y' - x + y = 0 \end{cases}$ при начальных условиях $x(0) = 1,\ \ y(0) = 1.$

Решение

Пусть

$$x(t) = X(p), \quad y(t) = Y(p),$$

тогда

$$x'(t) = pX(p) - 1; \quad y'(t) = pY(p) - 1.$$

Переходим в уравнениях к изображениям

$$\begin{cases} pX(p) - 1 + 3X(p) + Y(p) = 0 \\ pY(p) - 1 - X(p) + Y(p) = 0 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} (p+3)X(p) + Y(p) = 1 \\ -X(p) + (p+1)Y(p) = 1 \end{cases}$$

Получили линейную алгебраическую систему с неизвестными $X(p)$ и $Y(p)$.

Решение этой системы находим по формулам Крамера.

$$X(p) = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad Y(p) = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} p+3 & 1 \\ -1 & p+1 \end{vmatrix} = (p+3)(p+1) + 1 = p^2 + 3p + p + 3 + 1 = (p+2)^2,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & p+1 \end{vmatrix} = p + 1 - 1 = p,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} p+3 & 1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} = p + 3 + 1 = p + 4.$$

Тогда $X(p)=\dfrac{p}{(p+2)^2}$; $Y(p)=\dfrac{p+4}{(p+2)^2}$.

Для нахождения оригиналов $x(t)$ и $y(t)$ найденные их изображения преобразуем

$$X(p)=\frac{p}{(p+2)^2}=\frac{(p+2)-2}{(p+2)^2}=\frac{1}{p+2}-\frac{2}{(p+2)^2}=e^{-2t}-2te^{-2t};$$

$$Y(p)=\frac{p+4}{(p+2)^2}=\frac{(p+2)+2}{(p+2)^2}=\frac{1}{p+2}+\frac{2}{(p+2)^2}=e^{-2t}+2te^{-2t}.$$

Частное решение системы дифференциальных уравнений есть

$$\begin{cases} x(t)=e^{-2t}(1-2t), \\ y(t)=e^{-2t}(1+2t). \end{cases}$$

Пример 2

Решить систему $\begin{cases} x'+x-y=e^t \\ y'-x+y=\sin t \end{cases}$

при начальных условиях $x(0)=1, \quad y(0)=0.$

Решение

Пусть

$$x(t)=X(p), \quad y(t)=Y(p),$$

тогда

$$x'(t)=pX(p)-1; \quad y'(t)=pY(p).$$

Переходим в уравнениях к изображениям

$$\begin{cases} pX(p)-1+X(p)-Y(p)=\dfrac{1}{p-1} \\ pY(p)-X(p)+Y(p)=\dfrac{1}{p^2+1} \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} (p+1)X(p)-Y(p)=\dfrac{1}{p-1}+1 \\ -X(p)+(p+1)Y(p)=\dfrac{1}{p^2+1}, \end{cases}$$

$$X(p)=\frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad Y(p)=\frac{\Delta_2}{\Delta},$$

$$\Delta=\begin{vmatrix} p+1 & -1 \\ -1 & p+1 \end{vmatrix}=(p+1)^2-1=p^2+2p,$$

$$\Delta_1=\begin{vmatrix} \dfrac{p}{p-1} & -1 \\ \dfrac{1}{p^2+1} & p+1 \end{vmatrix}=\frac{p(p+1)}{p-1}+\frac{1}{p^2+1}=$$

$$=\frac{p^4+p^3+p^2+p+p-1}{(p-1)(p^2+1)}=\frac{p^4+p^3+p^2+2p-1}{(p-1)(p^2+1)},$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} p+1 & \dfrac{p}{p-1} \\ -1 & \dfrac{1}{p^2+1} \end{vmatrix} = \frac{p+1}{p^2+1} + \frac{p}{p-1} =$$

$$= \frac{p^2-1+p^3+p}{(p-1)(p^2+1)} = \frac{p^3+p^2+p-1}{(p-1)(p^2+1)}.$$

Тогда

$$X(p) = \frac{p^4+p^3+p^2+2p-1}{p(p+2)(p-1)(p^2+1)}, \quad Y(p) = \frac{p^3+p^2+p-1}{p(p+2)(p-1)(p^2+1)}.$$

Каждую из правильных рациональных дробей представим в виде суммы простейших дробей

$$\frac{p^4+p^3+p^2+2p-1}{p(p+2)(p-1)(p^2+1)} = \frac{A}{p} + \frac{B}{p+2} + \frac{C}{p-1} + \frac{Dp+E}{p^2+1},$$

$$p^4+p^3+p^2+2p-1 = A(p+2)(p-1)(p^2+1) + Bp(p-1)(p^2+1) +$$

$$+ Cp(p+2)(p^2+1) + (Dp+E)p(p+2)(p-1)$$

$p=0 \qquad -1=-2A, \qquad A=\dfrac{1}{2}$

$p=1 \qquad 4=6C, \qquad C=\dfrac{2}{3}$

$p=-2 \qquad 16-8+4-4-1=30B, \quad 7=30B, \quad B=\frac{7}{30}$

$p^4: \quad 1=A+B+C+D, \quad D=1-A-B-C=1-\frac{1}{2}-\frac{7}{30}-\frac{2}{3}=-\frac{2}{5}$

$p=-1 \quad -2=-4A+4B-2C-2D+2E.$

$$E=-1+2A-2B+C+D=-1+1-\frac{7}{15}+\frac{2}{3}-\frac{2}{5}=-\frac{1}{5}$$

$$X(p)=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{p}+\frac{7}{30}\cdot\frac{1}{p+2}+\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{p-1}-\frac{2}{5}\cdot\frac{p}{p^2+1}-\frac{1}{5}\cdot\frac{1}{p^2+1}.$$

По изображению $X(p)$ находим оригинал $x(t)$:

$$x(t)=\frac{1}{2}+\frac{7}{30}e^{-2t}+\frac{2}{3}e^{t}-\frac{2}{5}\cos t-\frac{1}{5}\sin t,$$

$$x(0)=\frac{1}{2}+\frac{7}{30}+\frac{2}{3}-\frac{2}{5}=\frac{15+7+20-12}{30}=\frac{30}{30}=1.$$

$$\frac{p^3+p^2+p-1}{p(p+2)(p-1)(p^2+1)}=\frac{A}{p}+\frac{B}{p+2}+\frac{C}{p-1}+\frac{Dp+E}{p^2+1},$$

$$p^3+p^2+p-1=A(p+2)(p-1)(p^2+1)+Bp(p-1)(p^2+1)+$$

$$+Cp(p+2)(p^2+1)+(Dp+E)p(p+2)(p-1)$$

$p=0 \qquad -1=-2A, \qquad A=\frac{1}{2}$

$p=1 \qquad 2=6C, \qquad C=\frac{1}{3}$

$$p=-2 \qquad -7=30B, \qquad\qquad B=-\frac{7}{30}$$

$$p^4: \qquad 0=A+B+C+D, \qquad D=-A-B-C=-\frac{1}{2}+\frac{7}{30}-\frac{1}{3}=-\frac{3}{5}$$

$$p=-1 \qquad -2=-4A+4B-2C-2D+2\mathrm{E}$$

$$E=-1+2A-2B+C+D=-1+1+\frac{7}{15}+\frac{1}{3}-\frac{3}{5}=+\frac{1}{5}$$

$$Y(p)=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{p}-\frac{7}{30}\cdot\frac{1}{p+2}+\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{p-1}-\frac{3}{5}\cdot\frac{p}{p^2+1}+\frac{1}{5}\cdot\frac{1}{p^2+1}.$$

Искомый оригинал $y(t)$ равен

$$y(t)=\frac{1}{2}-\frac{7}{30}e^{-2t}+\frac{1}{3}e^{t}-\frac{3}{5}\cos t+\frac{1}{5}\sin t,$$

$$y(0)=\frac{1}{2}-\frac{7}{30}+\frac{1}{3}-\frac{3}{5}=\frac{15-7+10-18}{30}=\frac{0}{30}=0.$$

Частное решение системы дифференциальных уравнений есть

$$\begin{cases} x(t)=\dfrac{1}{2}+\dfrac{7}{30}e^{-2t}+\dfrac{2}{3}e^{t}-\dfrac{2}{5}\cos t-\dfrac{1}{5}\sin t \\ y(t)=\dfrac{1}{2}-\dfrac{7}{30}e^{-2t}+\dfrac{1}{3}e^{t}-\dfrac{3}{5}\cos t+\dfrac{1}{5}\sin t. \end{cases}$$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Найти изображения для заданных оригиналов

$$1)\ f(t) = 2\cos 5t - e^{-t}\sin 4t;$$
$$2)\ f(t) = \sin 2(t-1)\cdot 1(t-1);$$
$$3)\ f(t) = 3t\cos 4t;$$
$$4)\ f(t) = (t-2)^3 e^{t-2}\cdot 1(t-2).$$

2. С помощью таблицы оригиналов и соответствующих им изображений и свойств преобразования Лапласа найти оригиналы по заданным изображениям:

$$1)\ F(p) = \frac{3p}{p^2-25} + \frac{2}{(p-2)^2+9};$$

$$2)\ F(p) = \frac{4p}{p^2-2p+5};$$
$$3)\ F(p) = \frac{p+8}{p^2+4p+7}e^{-p};$$

$$4)\ F(p) = \frac{7}{(p+3)^3} - \frac{p\,e^{-2p}}{p^2-16}.$$

3. Найти частные решения дифференциальных уравнений, удовлетворяющие заданным начальным условиям:

1) $y''-4y'+5y=e^t, \quad y(0)=0, \quad y'(0)=1;$

2) $y''-3y'+2y=e^t, \quad y(0)=2, \quad y'(0)=6;$

3) $y''+y'=\sin 2t, \quad y(0)=0, \quad y'(0)=0;$

4) $y''+4y'=3\cos t, \quad y(0)=0, \quad y'(0)=1.$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Араманович И. Г., Лунц Г. Л., Эльсгольц Л. Э. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости. – М.: Наука, 1970. – 380 с.

Ершова В. В. Импульсные функции. Функции комплексной переменной. Операционное исчисление. – М.: Наука, 1976. – 255 с.



Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Г. М. ПЛОТНИКОВА

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Учебное пособие
по разделу дисциплины «Математика»
для студентов всех специальностей
очного обучения

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……... 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ …… 5
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ……..… 25
ОТВЕТЫ ….…… 71
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ……....83

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие предназначено для студентов всех специальностей очного обучения.

Пособие содержит 30 вариантов заданий по теме «Теория вероятностей». В начале пособия даны методические указания с подробными решениями аналогичных задач. В конце пособия указаны ответы.

Целью работы является активизация самостоятельной работы студентов и содействие более глубокому усвоению разделов курса математики и её приложений.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

В данном разделе приведены подробные решения задач, подобных указанным в вариантах.

Задача 1

При массовом производстве полупроводниковых диодов вероятность брака при формовке 0,2. Какова вероятность того, что из 400 наугад взятых диодов ровно 84 будут бракованными?

Решение

Так как $n = 400$ представляет собой достаточно большое число и $p = 0{,}2$, то можно считать, согласно локальной теореме Лапласа, что случайная величина $X = k$ распределена по нормальному закону. Тогда вероятность того, что в n независимых испытаниях событие наступит ровно k раз, приближённо равна

$$P_n(k) = \frac{1}{\sqrt{npq}}\varphi(x),$$

где

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-x^2}{2}}, \quad x = \frac{k-np}{\sqrt{npq}}.$$

По условиям задачи $k = 84$; $q = 0{,}8$, $p = 0{,}2$, $n = 400$, тогда

$$P(X = 84) \approx \frac{1}{\sqrt{400 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8}} \varphi\left(\frac{84 - 400 \cdot 0{,}2}{\sqrt{400 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8}}\right) =$$

$$= \frac{1}{8}\varphi(0{,}5) = \frac{1}{8} 0{,}3521 \approx 0{,}044.$$

Таблица функции $\varphi(x)$ для положительных значений x приводится в приложениях к учебникам (см., например [4], прил. 1. В. Е. Гмурман. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике). Для отрицательных значений x пользуются той же таблицей, так как функция $\varphi(x)$ – чётная.

Задача 2

Производится три выстрела по одной и той же мишени. Вероятности попадания при первом, втором и третьем выстрелах соответственно равны:

$$p_1 = 0{,}4;\ \ p_2 = 0{,}5;\ \ p_3 = 0{,}7.$$

Найти вероятности того, что в результате этих трёх выстрелов по мишени будет:

а) ровно одно попадание;

б) хотя бы одно попадание;

в) ровно два попадания.

Решение

а) Пусть событие A – одно попадание в мишень. Обозначим $A_1 - A_3 -$ события, означающие попадания в мишень соответственно при первом, втором и третьем выстрелах. Событие A выражается так

$$A = A_1\overline{A}_2\overline{A}_3 + \overline{A}_1A_2\overline{A}_3 + \overline{A}_1\overline{A}_2A_3,$$

где $\overline{A}_1 - \overline{A}_3 -$ события, противоположные соответственно событиям $A_1 - A_3$.

Применяя теорему сложения вероятностей для несовместных событий и теорему умножения для независимых событий, получим

$$P(A) = P(A_1\overline{A}_2\overline{A}_3) + P(\overline{A}_1A_2\overline{A}_3) + P(\overline{A}_1\overline{A}_2A_3) =$$

$$= P(A_1)\cdot P(\overline{A}_2)\cdot P(\overline{A}_3) + P(\overline{A}_1)\cdot P(A_2)\cdot P(\overline{A}_3) + P(\overline{A}_1)\cdot P(\overline{A}_2)\cdot P(A_3) =$$

$$= 0{,}4\cdot 0{,}5\cdot 0{,}3 + 0{,}6\cdot 0{,}5\cdot 0{,}3 + 0{,}6\cdot 0{,}5\cdot 0{,}7 = 0{,}36.$$

б) Пусть событие B – хотя бы одно попадание в мишень, тогда

$$B = A_1A_2A_3 + A_1A_2\overline{A}_3 + A_1\overline{A}_2A_3 + A_1\overline{A}_2\overline{A}_3 + \overline{A}_1A_2\overline{A}_3 + \overline{A}_1\overline{A}_2A_3.$$

Но легче подсчитать вероятность противоположного события $\overline{B}$ – ни одного попадания при трёх выстрелах:

$$\overline{B} = \overline{A}_1\overline{A}_2\overline{A}_3.$$

Тогда $P(B) = 1 - P(\overline{B}) = 1 - 0{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}3 = 1 - 0{,}09 = 0{,}91.$

в) Пусть событие C равно двум попаданиям, тогда

$$C = A_1A_2\overline{A}_3 + A_1\overline{A}_2A_3 + \overline{A}_1A_2A_3,$$

$$P(C) = 0{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}3 + 0{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}7 + 0{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}7 = 0{,}41.$$

Задача 3

По каналу связи передаётся один из двух возможных сигналов x_1 или x_2. Сигнал x_2 передаётся в среднем в два раза чаще, чем сигнал x_1. Из-за наличия помех возможны искажения: вместо сигнала x_1 на приёме может быть получен сигнал x_2 и наоборот. Свойства канала связи таковы, что сигнал x_1 подвергается искажениям в 10 %, а сигнал x_2 – в 20 % случаев. Предположим, что получен сигнал x_1. Какова вероятность, что передан этот же сигнал?

Решение

Введём обозначения:

событие A – передан сигнал x_1;

событие B – получен сигнал x_1.

Тогда событие $\overline{A}$ – передан сигнал x_2. Событие B может наступить лишь при появлении одного из несовместных событий (гипотез) A и $\overline{A}$.

По условиям задачи:

$$P(A) = \frac{1}{3}; \quad P(\overline{A}) = \frac{2}{3}.$$

Вероятность того, что получен сигнал x_1, при условии, если передали этот же сигнал:

$$P(B/A)=0{,}9.$$

Вероятность того, что получен сигнал x_1, если передали сигнал x_2:

$$P(B/\overline{A})=0{,}2.$$

Искомую вероятность $P(A/B)$ находим по формуле Бейеса

$$P(A/B)=\frac{P(A)\cdot P(B/A)}{P(A)\cdot P(B/A)+P(\overline{A})\cdot P(B/\overline{A})}=\frac{\frac{1}{3}\cdot 0{,}9}{\frac{1}{3}\cdot 0{,}9+\frac{2}{3}\cdot 0{,}2}\approx 0{,}692.$$

Задача 4

"n" стрелков независимо друг от друга стреляют по одной и той же цели. Вероятность попадания для каждого стрелка равна $p=0{,}004.$ Определить количество стрелков, которое потребуется для поражения цели с вероятностью не меньшей, чем $P=0{,}98.$

Решение

Пусть событие A – поражение цели стрелками, тогда $\overline{A}-$ промахи всех стрелков. Так как выстрелы производятся независимо друг от друга, то по теореме умножения вероятностей

$$P(\overline{A})=(1-p)^n,$$

а вероятность наступления события A

$$P(A)=1-P(\overline{A})=1-(1-p)^n.$$

По условию задачи необходимо, чтобы

$$1-(1-p)^n\geq P$$

или

$$1 - P \geq (1 - p)^n.$$

Отсюда

$$\lg(1 - P) \geq n \cdot \lg(1 - p)$$

и, с учетом того, что $\lg(1 - p) < 0$:

$$n \geq \frac{\lg(1 - P)}{\lg(1 - p)}.$$

При p = 0,004 и P = 0,98 получим

$$n \geq \frac{\lg 0{,}02}{\lg 0{,}996} \approx 976.$$

Ответ

Для поражения цели требуется не менее 976 стрелков.

Задача 5

Из партии, состоящей из 50 изделий, среди которых имеется 5 бракованных, выбраны случайным образом четыре изделия для проверки их качества. Построить ряд распределения случайного числа X бракованных изделий, содержащихся в выборке, и найти математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины X. Найти функцию распределения $F(x)$ и построить её график.

Решение

Возможными значениями случайной величины X будут

$x_1 = 0$ (в выборке нет бракованных изделий);

$x_2 = 1$ (в выборке одно бракованное изделие);

$x_3 = 2; x_4 = 3; x_5 = 4$ (все четыре выбранных изделия бракованные).

Найдем вероятность того, что случайная величина X примет эти значения.

а) $x_1 = 0.$

Согласно классическому определению вероятности, вероятностью события A называется отношение числа благоприятных случаев m к общему числу случаев n:

$$P(A) = \frac{m}{n}.$$

Общее число состоит из возможных комбинаций, которые можно образовать из 50 изделий по четыре, т. е.

$$n = C_{50}^4,$$

где число сочетаний вычисляется по формуле

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Из этого числа случаев благоприятными являются только те выборки, которые не содержат бракованных изделий. Так как имеется 45 небракованных изделий, то число благоприятных случаев – это число способов, которыми можно выбрать 4 изделия из 45, т. е.

$$m = C_{45}^4,$$

тогда для $x_1 = 0$

$$p_1 = \frac{C_{45}^4}{C_{50}^4} = \frac{\frac{45!}{4!\cdot 41!}}{\frac{50!}{4!\cdot 46!}} = \frac{42\cdot 43\cdot 44\cdot 45}{47\cdot 48\cdot 49\cdot 50} = 0{,}64696.$$

б) $x_2 = 1.$

Общее число случаев $n = C_{50}^4.$

Благоприятными случаями являются те выборки, которые содержат одно бракованное изделие и три небракованных.

Число способов, которыми можно выбрать одного бракованное изделие из пяти, равно числу сочетаний из 5 по 1, т. е. $C_5^1.$

Кроме того, число способов, которыми можно выбрать остальные три небракованных изделия из 45, равно $C_{45}^3.$ А так как каждое выбранное бракованное изделие может оказаться в одной выборке с каждой из троек небракованных

изделий, то число всех выборок по 4 изделия, в которых одно бракованное, а три небракованных, равно: $C_5^1 \cdot C_{45}^3$, тогда

$$p_2 = \frac{C_5^1 \cdot C_{45}^3}{C_{50}^4} = 0{,}30807.$$

в) Вероятность того, что случайная величина X примет значение, равное 2, равна $(x_3 = 2)$

$$p_3 = \frac{C_5^2 \cdot C_{45}^2}{C_{50}^4} = 0{,}043.$$

г) $x_4 = 3.$

$$p_4 = \frac{C_5^3 \cdot C_{45}^1}{C_{50}^4} = 0{,}00195.$$

д) $x_5 = 4.$

$$p_5 = \frac{C_5^4 \cdot C_{45}^0}{C_{50}^4} = 0{,}00002.$$

Получим следующий ряд распределения:

X	0	1	2	3	4
P	0,64696	0,30807	0,043	0,00195	0,00002

Определяем математическое ожидание (округлим до 0,001).

$$M(X) = \sum_{i=1}^{5} x_i p_i = 0 \cdot 0{,}647 + 1 \cdot 0{,}308 + 2 \cdot 0{,}043 + 3 \cdot 0{,}002 + 4 \cdot 0 = 0{,}398 \approx 0{,}4.$$

Дисперсию вычислим по формуле

$$D(X) = \sum_{i=1}^{5} x_i^2 p_i - \left(M(X)\right)^2.$$

Для нахождения дисперсии составим ряд распределения для величины x^2 (вероятности округлены до 0,001)

X^2	0	1	4	9	16
P	0,647	0,308	0,043	0,002	0

тогда

$$D(X) = 0 \cdot 0{,}647 + 1 \cdot 0{,}308 + 4 \cdot 0{,}043 + 9 \cdot 0{,}002 + 16 \cdot 0 - (0{,}4)^2 \approx 0{,}338 \approx 0{,}34.$$

Среднее квадратическое отклонение $\sigma(x)$ рассчитывается по формуле

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0{,}34} \approx 0{,}58.$$

Найдём функцию распределения $F(x)$. Согласно определению, функцией распределения случайной величины X называется вероятность того, что она примет значение меньшее, чем заданное x:

$$F(x) = P\{X < x\}.$$

1. Пусть $x \le 0$; так как число изделий отрицательным быть не может, то для любого $x \le 0$ (включая 0) $F(x) = 0.$
2. Пусть $0 < x \le 1$ (например, $x = 1/2$):

$$F(x) = P\{X = 0\} = 0{,}64696.$$

3. Пусть $1 < x \le 2$ (например, 1,75):

$$F(x) = P\{X < 2\} = P\{X = 0\} + P\{X = 1\} = 0{,}64696 + 0{,}30807 = 0{,}95503.$$

Очевидно, что и $F(2) = 0{,}95503.$

4. Пусть $2 < x \le 3$, тогда

$$F(x) = P\{X < 3\} = P\{x = 0\} + P\{x = 1\} + P\{x = 2\}$$

$$= 0{,}95503 + 0{,}043 = 0{,}99803.$$

5. Пусть $3 < x \le 4$: $F(x) = P\{X < 4\} = 0{,}99803 + 0{,}00195 = 0{,}999.$

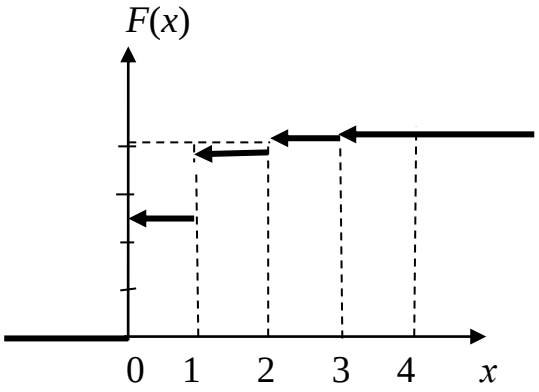
Тогда и $F(4) = 0{,}99998.$

6. Пусть $x > 4$: $F(x) = 0{,}99998 + 0{,}00002 = 1.$

Итого:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \le 0, \\ 0{,}64696, & 0 < x \le 1, \\ 0{,}95503, & 1 < x \le 2, \\ 0{,}99803, & 2 < x \le 3, \\ 0{,}99998, & 3 < x \le 4, \\ 1, & x > 4 \end{cases}.$$

Изобразим графические функции $F(x)$:



Задача 6

Дискретная случайная величина X может принимать только два значения: x_1 и x_2, причем $x_1 < x_2$. Известны вероятность p_1 возможного значения x_1, математическое ожидание $M(X)$ и $D(X)$. Найти закон распределения этой случайной величины, если $p_1 = 0{,}3; \quad M(X) = 3{,}4; \quad D(X) = 0{,}84.$

Решение

Сумма вероятностей всех возможных значений дискретной случайной величины равна единице, поэтому вероятность того, что X примет x_2, равна 1 – 0,3 = 0,7.

Напишем закон распределения X:

X	x_1	x_2
P	0,3	0,7

Для отыскания x_1 и x_2 надо составить два уравнения, связывающие эти числа. С этой целью выразим известные математическое ожидание и дисперсию через x_1 и x_2

Найдем $M(X)$

$$M(X) = 0{,}3x_1 + 0{,}7x_2.$$

По условию: $M(X) = 3{,}4,$ следовательно,

$$0{,}3x_1 + 0{,}7x_2 = 3{,}4 \qquad (1)$$

Напишем закон распределения X^2

X^2	x_1^2	x_2^2
P	0,3	0,7

Найдём $M(X^2)$

$$M(X^2) = 0{,}3x_1^2 + 0{,}7x_2^2.$$

Формула для нахождения дисперсии имеет вид

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2.$$

Подставляя, $D(X) = 0{,}84,$ получим

$$0{,}3x_1^2 + 0{,}7x_2^2 - (3{,}4)^2 = 0{,}84$$

или

$$0{,}3x_1^2 + 0{,}7x_2^2 = 12{,}4. \qquad (2)$$

Объединяя уравнения (1) и (2), получим систему уравнений

$$\begin{cases} 0{,}3x_1 + 0{,}7x_2 = 3{,}4 \\ 0{,}3x_1^2 + 0{,}7x_2^2 = 12{,}4 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} 3x_1 + 7x_2 = 34 \\ 3x_1^2 + 7x_2^2 = 124. \end{cases}$$

Из первого уравнения находим

$$x_1 = \frac{34 - 7x_2}{3}.$$

Подставляя это значение x_1 во второе уравнение, получим после упрощения

$$5x_2^2 - 34x_2 + 56 = 0.$$

Корнями этого квадратного уравнения будут числа $x_2' = 2{,}8$ и $x_2'' = 4.$
Для $x_2' = 2{,}8$ находим

$$x_1' = \frac{34 - 7 \cdot 28}{3} = 4{,}8.$$

Для $x_2'' = 4$ находим

$$x_1'' = \frac{34 - 7 \cdot 4}{3} = 2.$$

Но по условию задачи $x_1 < x_2$, поэтому остаётся принять, что $x_1 = 2$ и $x_2 = 4.$

Таким образом, закон распределения случайной величины X имеет вид

X	2	4
P	0,3	0,7

Задача 7

Случайная величина X задана интегральной функцией распределения $F(x)$. Найти плотность вероятности $f(x)$, математическое ожидание $M(x)$, дисперсию $D(x)$. Построить график функций $F(x)$ и $f(x)$. Найти вероятность того, что случайная величина X примет значение, заключенное в интервале $\left(\frac{\pi}{16};\frac{\pi}{12}\right)$, если

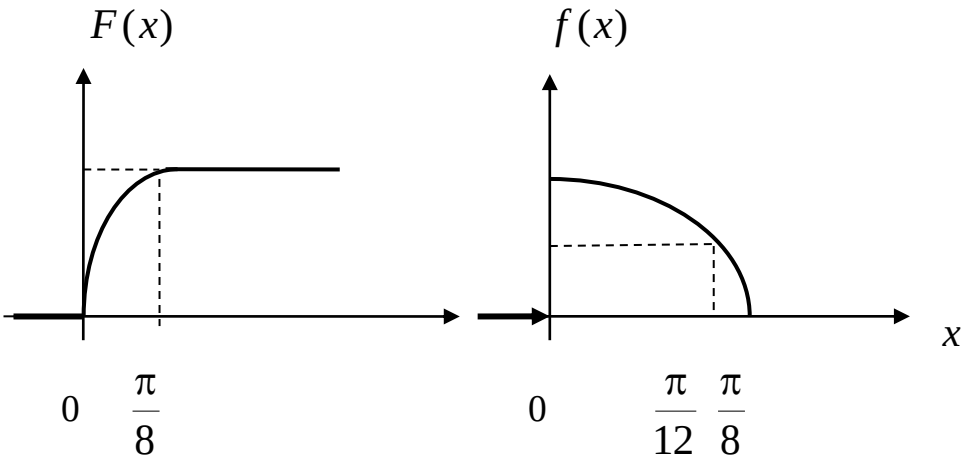
$$F(x)=\begin{cases}0, & \text{при} \quad x<0\\ \sin 4x, & \text{при} \quad 0\le x\le \frac{\pi}{8}\\ 1, & \text{при} \quad x>\frac{\pi}{8}\end{cases}$$

Решение

Для нахождения плотности вероятности $f(x)$ воспользуемся формулой $f(x)=F'(x)$. Тогда

$$f(x)=\begin{cases}0, & \text{при} \quad x<0\\ 4\cos 4x, & \text{при} \quad 0<x\le \frac{\pi}{8}\\ 0, & \text{при} \quad x>\frac{\pi}{8}.\end{cases}$$

Графики $F(x)$ и $f(x)$ таковы:



Для нахождения математического ожидания используем формулу

$$M(X)=\int_a^b x\cdot f(x)\,dx,$$

где a и b – границы интервала, которому принадлежат все возможные значения X.

Подставив $a=0;\quad b=\dfrac{\pi}{8};\quad f(x)=4\cos 4x$, получим

$$M(X)=\int_0^{\pi/8} x\cdot 4\cos 4x\,dx=4\int_0^{\pi/8} x\cdot\cos 4x\,dx=$$

$$=\left|\begin{array}{ll} u=x; & dv=\cos 4x\,dx \\ du=dx; & v=\dfrac{1}{4}\sin 4x \end{array}\right|=$$

$$=4x\frac{1}{4}\sin 4x\Big|_0^{\pi/8}-4\int_0^{\pi/8}\frac{1}{4}\sin 4x=$$

$$=x\sin 4x\Big|_0^{\pi/8}-4\int_0^{\pi/8}\sin 4x\,dx=$$

$$=\frac{\pi}{8}\cdot\sin\frac{4\pi}{8}+\frac{1}{4}\cos 4x\Big|_0^{\pi/8}=\frac{\pi}{8}-\frac{1}{4}.$$

Для нахождения дисперсии воспользуемся формулой

$$D(X) = \int_a^b x^2 f(x)dx - M^2(X),$$

тогда

$$D(X) = 4\int_a^b x^2 \cos 4xdx - \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 =$$

$$= \left| \begin{array}{ll} u = x^2, & \cos 4xdx = dv \\ du = 2xdx, & v = \frac{1}{4}\sin 4x \end{array} \right| =$$

$$= 4\frac{1}{4}\sin 4x \cdot x^2 \Big|_0^{\pi/8} - 4\frac{1}{4}\int_0^{\pi/8} 2x \sin 4x - \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 =$$

$$= x^2 \sin 4x \Big|_0^{\pi/8} - 2\int_0^{\pi/8} x \sin 4xdx - \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 =$$

$$= \left| \begin{array}{ll} x = u, & \sin 4xdx = dv \\ dx = du, & v = -\frac{1}{4}\cos x \end{array} \right| =$$

$$\frac{\pi^2}{64} - 2(-\frac{1}{4}x\cos 4x\Big|_0^{\pi/8} + \frac{1}{4}\int_0^{\pi/8}\cos 4xdx) - \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 =$$

$$= \frac{\pi^2}{64} - 2\frac{1}{16}\sin 4x\Big|_0^{\pi/8} - -\left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 =$$

$$= \frac{\pi^2}{64} - \frac{1}{8} - \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{4}\right)^2 = \frac{\pi - 3}{16}.$$

Вероятность того, что заданная величина X примет значения, заключённые в интервале $\left(\frac{\pi}{16};\frac{\pi}{12}\right)$, находится по формуле

$$P(a<X<b)=\int_a^b f(x)dx=F(b)-F(a),$$

тогда

$$P\left(\frac{\pi}{16}<X<\frac{\pi}{12}\right)=\sin 4x\Big|_{\pi/16}^{\pi/12}=\sin\frac{\pi}{3}-\sin\frac{\pi}{4}=$$

$$=\frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{2}\approx 0{,}159.$$

Задача 8

Найти вероятность того, что в четырёх независимых испытаниях событие A повторится:

а) ровно два раза;

б) не менее двух раз;

в) не более двух раз;

г) хотя бы один раз,

если в каждом испытании вероятность появления события A равна 0,4.

Решение

Для решения задачи воспользуемся формулой Бернулли: вероятность того, что в n независимых испытаниях, в каждом из которых вероятность появления события $p(0<p<1)$, событие наступит ровно k раз (безразлично, в какой последовательности), равна

$$P_n(k)=C_n^k p^k q^{n-k},$$

где $q=1-p$; тогда вероятность того, что в четырёх испытаниях событие A наступит:

а) ровно два раза, равна

$$P_4(2)=C_4^2\cdot 0{,}4^2\cdot 0{,}6^2=\frac{4!}{2!\cdot 2!}0{,}16\cdot 0{,}36=0{,}3456;$$

б) не менее двух раз:

$$P_4(2)+P_4(3)+P_4(4)=0{,}3456+0{,}1536+0{,}0256=0{,}5248;$$

в) не более двух раз:

$$P_4(0)+P_4(1)+P_4(2)=1-P_4(3)-P_4(4)=$$

$$=1-0{,}1536-0{,}0256=0{,}8208;$$

г) хотя бы один раз:

$$P_4(1)+P_4(2)+P_4(3)+P_4(4)=1-P_4(0)=$$

$$=1-C_4^0\cdot 0{,}4^0\cdot 0{,}6^4=1-0{,}1296=0{,}8704.$$

Задача 9

Известны математическое ожидание $a=7$ и среднее квадратическое отклонение σ нормально распределённой величины X. Найти вероятность попадания этой величины в заданный интервал (4, 13).

Решение

Вероятность того, что нормально распределённая величина X примет значение, принадлежащее интервалу (α,β), равна:

$$P(\alpha<X<\beta)=\Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right),$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

Подставив $\alpha=4,\quad \beta=13,\quad a=7$ и $\sigma=3$, получим

$$P(4<X<13)=\Phi\left(\frac{13-7}{3}\right)-\Phi\left(\frac{4-7}{3}\right)=\Phi(2)-\Phi(-1)=\Phi(2)+\Phi(1).$$

По таблице значений функций Лапласа (смотреть, например [4]. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике, прил. 2) находим:

$$\Phi(2) = 0{,}4772; \quad \Phi(1) = 0{,}3413,$$

тогда

$$P(4 < X < 13) = 0{,}4772 + 0{,}3413 = 0{,}8185.$$

Задача 10

В лифт семиэтажного дома на первом этаже вошли три человека. Каждый из них с одинаковой вероятностью выходит на любом из этажей, начиная со второго. Найти вероятности следующих событий:

A – все пассажиры выйдут на четвёртом этаже;

B – все пассажиры выйдут одновременно (на одном и том же этаже);

C – все пассажиры выйдут на разных этажах.

Решение

Общее число случаев $n = 6^3 = 216, \quad P(A) = \frac{1}{216}$. Вероятность события B вшестеро больше вероятности события A (так как этажей, на которых можно выйти, 6); $m = 6$ и $\mathrm{P(B)} = \frac{6}{216} = \frac{1}{36}$. Для события C число способов, которыми можно распределить трёх пассажиров по шести этажам: $m = C_6^3 = 20;$ $P(C) = \frac{20}{216} = \frac{5}{54.}$

Задача 11

Двое поочередно бросают монету. Выигрывает тот, у которого раньше появится герб. Определить вероятность выигрыша для каждого из игроков.

Решение

Вероятность выигрыша для игроков обозначим p_1 и p_2.

$$p_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^5} + \cdots = \frac{2}{3}.$$

Имеем сумму бесконечно убывающей геометрической прогрессии, где $b_1 = \frac{1}{2}, \quad q = \frac{1}{4}, S = \frac{b_1}{1-q} = \frac{2}{3}.$

$$p_2 = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^6} + \cdots = \frac{1}{3},$$

где $b_1 = \frac{1}{4}, \quad q = \frac{1}{4}.$

Другое решение:

$$p_1 + p_2 = 1,\ p_2 = \frac{1}{2} p_1, \quad \text{т. е.} \quad p_1 = \frac{2}{3},\ p_2 = \frac{1}{3}.$$

Задача 12

Плотность распределения вероятностей случайной величины X имеет вид $f(x) = \gamma e^{-x^2+2x+3}$. Найти γ, математическое ожидание $M(X)$, дисперсию $D(X)$, функцию распределения случайной величины X, вероятность выполнения неравенства $-\frac{1}{3} < X < \frac{4}{3}.$

Решение

Используем формулы для нормального распределения. Плотность нормального распределения: $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}}$. Преобразуем заданную функцию:

$$f(x) = \gamma e^{-((x^2-2x+1)-1-3)} = \gamma e^{-(x-1)^2+4} = \gamma e^4 e^{-(x-1)^2}.$$

Отсюда имеем:

$$2\sigma^2 = 1, \quad D(X) = \sigma^2 = \frac{1}{2}, \quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$\gamma e^4 = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{2\pi}}; \quad \gamma = \frac{1}{e^4\sqrt{\pi}};$$

$$F(x)=\frac{1}{2}+\Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)=\frac{1}{2}+\Phi\left(\frac{x-1}{\frac{1}{\sqrt{2}}}\right)=\frac{1}{2}+\Phi(\sqrt{2}(x-1));$$

$$P(\alpha<X<\beta)=\Phi\left(\frac{\beta-m}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right);$$

$$P\left(-\frac{1}{3}<X<\frac{4}{3}\right)=\Phi\left(\frac{\frac{4}{3}-1}{\frac{1}{\sqrt{2}}}\right)-\Phi\left(\frac{-\frac{1}{3}-1}{\frac{1}{\sqrt{2}}}\right)=\Phi\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)+\Phi\left(\frac{4\sqrt{2}}{3}\right)=$$

$$=\Phi(0{,}4714)+\Phi(1{,}8856)=0{,}1808+0{,}4706=0{,}6514.$$

Задача 13

Дана плотность распределения случайной величины X:

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{2(x-a)}{(b-a)^2}, & x\in[a,b],\\ 0, & x\bar{\in}[a,b].\end{cases}$$

Найти математическое ожидание $M(Y)$ и дисперсию $D(Y)$ случайной величины Y, которая представляет собой площадь квадрата со стороной x, если a = 4, b = 6.

Решение

$$Y = \varphi(x) = x^2, \qquad M(Y) = \int_a^b \varphi(x) f(x) dx,$$

$$M(Y) = \int_4^6 x^2 \frac{(x-4)}{2} dx = \frac{86}{3};$$

$$D(Y) = \int_a^b \varphi^2(x) f(x) dx - M^2(Y);$$

$$D(Y) = \int_4^6 x^4 \frac{(x-4)}{2} dx - \left(\frac{86}{3}\right)^2 = \frac{1084}{45} \approx 24{,}1.$$

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вариант № 1

1. Два брата входят в состав двух различных спортивных команд, состоящих из 12 человек каждая. В двух урнах имеется по 12 билетов с номерами от 1 до 12. Члены каждой команды вынимают наудачу по одному билету из определенной урны (без возвращения). Найти вероятность того, что оба брата вытащат номер 6.

2. Радиолампа может принадлежать к одной из трёх партий с вероятностями 0,25; 0,5; 0,25. Вероятности того, что лампа проработает заданное число часов, равны для этих партий, соответственно, 0,1; 0,2; 0,5. Определить вероятность того, что радиолампа проработает заданное число часов.

3. Чему равна вероятность того, что при бросании трёх игральных костей 6 очков появится хотя бы один раз?

4. Вероятность выхода из строя за время T одного конденсатора равна 0,2. Определить вероятность того, что за время T из 100 конденсаторов выйдут из строя:

а) не менее 20 конденсаторов;

б) менее 28 конденсаторов;

в) от 14 до 26 конденсаторов.

5. Опыт состоит из трёх бросаний монеты, из которых герб выпадает с вероятностью p = 0,5. Для случайного числа появлений герба построить: а) ряд распределения; б) многоугольник распределения; в) функцию распределения.

Вариант № 2

1. Студент знает 45 из 60 вопросов программы. Каждый экзаменационный билет содержит три вопроса. Найти вероятность того, что студент знает: а) все три вопроса; б) только два; в) только один вопрос.

2. Устройство содержит 2 независимо работающих элемента. Вероятности отказа элементов соответственно равны 0,05 и 0,08. Найти вероятность отказа устройства, если для этого достаточно, чтобы отказал хотя бы один элемент.

3. При передаче сообщения сигналами «точка» и «тире» эти сигналы встречаются в соотношении 5/3. Статистические свойства помех таковы, что искажаются в среднем 2/5 сообщений «точка» и 1/3 сообщений «тире». Найти вероятность того, что произвольный из принятых сигналов не искажён.

4. Вероятность поражения мишени стрелком при одном выстреле равна 0,75. Найти вероятность того, что при 10 выстрелах, стрелок поразит мишень 8 раз. Результат, полученный применением локальной теоремы Лапласа, сравнить с результатом, полученным по формуле Бернулли.

5. Опыт состоит из четырех независимых бросаний монеты, в каждом из которых герб выпадает с вероятностью $p = 0{,}5$. Для случайного числа появлений герба построить: а) ряд распределения; б) многоугольник распределения; в) функцию распределения.

Вариант № 3

1. В каждой из двух урн находится 5 белых и 10 черных шаров. Из первой урны переложили во вторую наудачу один шар, а затем из второй вынули наугад один шар. Найти вероятность того, что вынутый шар окажется чёрным.

2. Отдел технического контроля проверяет изделия на стандартность. Вероятность того, что изделие стандартно, равна 0,8. Найти вероятность того, что из двух проверенных изделий только одно стандартное.

3. В лотерее 1000 билетов, из них на 1 билет падает выигрыш 500 рублей, на 10 билетов – по 100 рублей, на 50 билетов – по 20 рублей, на 100 билетов – по 5 рублей, остальные билеты невыигрышные. Некто покупает 1 билет. Найти вероятность выигрыша не менее 20 рублей.

4. Для определения содержания полезных компонентов на металлургическом комбинате проводится опробование вагонов с товарной рудой. Найти вероятность того, что из 400 вагонов опробование пройдут ровно 80 вагонов, если из 5 вагонов опробуется только один.

5. Производится 4 выстрела по мишени. Вероятность попадания при каждом выстреле равна 0,3. Для случайного числа попаданий построить: а) ряд распределения; б) многоугольник распределения; в) функцию распределения, г) найти математическое ожидание.

Вариант № 4

1. Три стрелка в одинаковых и независимых условиях производят по одному выстрелу по одной и той же цели. Вероятность поражения цели первым стрелком равна 0,9, вторым – 0,8, третьим – 0,7. Найти вероятность того, что: а) только один из стрелков попадает в цель; б) только два стрелка попадут в цель; в) все три стрелка попадут в цель.

2. Наборщик пользуется двумя кассами. В первой кассе – 90 %, а во второй – 80 % отличного шрифта. Найти вероятность того, что любая извлечённая литера из наудачу взятой кассы будет отличного качества.

3. Студент знает 70 из 90 вопросов программы. Найти вероятность того, что студент знает предложенные ему экзаменатором 3 вопроса.

4. Имеются 100 станков одинаковой мощности, работающих независимо друг от друга в одинаковом режиме, при котором их привод оказывается включённым в течение $p = 0{,}8$ всего рабочего времени. Какова вероятность того, что в произвольно взятый момент времени окажутся включенными от 70 до 80 станков?

5. Производится взрывание пяти скважин. Вероятность высокой эффективности объёма взорванной массы одной скважины равна 0,7. Построить ряд распределения эффективности объёма взорванной массы и найти её математическое ожидание.

Вариант № 5

1. Вероятность наступления события в каждом из одинаковых и независимых испытаний равна 0,8. Найти вероятность того, что в 1600 испытаниях событие наступит 1200 раз.

2. Автомат штампует детали. Вероятность того, что за один час не будет выпущено ни одной нестандартной детали, равна 0,9. Найти вероятность того, что будут стандартными все детали, выпущенные за 3 часа.

3. Число грузовых автомашин, проезжающих по шоссе, на котором стоит бензоколонка, относится к числу легковых автомашин как 3/2. Вероятность того, что будет заправляться грузовая машина, равна 0,1, для легковой машины эта вероятность равна 0,2. К бензоколонке подъехала для заправки машина. Найти вероятность того, что эта машина грузовая.

4. Из цифр 1 – 5 выбирается наудачу одна, затем из оставшихся также наудачу выбирается вторая. Найти вероятности следующих событий:

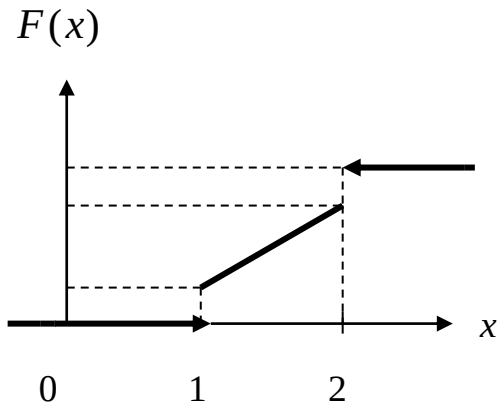
событие A – первая цифра чётная;

событие $Б$ – вторая цифра чётная;

событие B – обе цифры чётные;

событие D – хотя бы одна цифра чётная.

5. Случайная величина X имеет функцию распределения, заданную графически.



Значения $x=1$ и $x=2$ имеют отличные от нуля вероятности:

$$P\{x=1\}=0{,}25,$$

$$P\{x=2\}=0{,}75,$$

при $x<1$ $F(x)=0,$ при $x>2$ $F(x)=1.$

На участке $1\le x\le 2$ $F(x)$ изменяется по линейному закону. Найти $M(X)$ и $D(X)$.

Вариант № 6

1. Для сигнализации об аварии установили три независимо работающих устройства. Вероятность того, что при аварии сработает первое устройство, равна 0,9; второе – 0,95 и третье – 0,85. Найти вероятность того, что при аварии сработает: а) только одно устройство; б) только два устройства; в) все три устройства.

2. Рабочий обслуживает три станка, на которых обрабатываются однотипные детали. Вероятность брака для первого станка равна 0,02; для второго – 0,03; для третьего – 0,04. Обработанные детали складываются в один ящик. Производительность первого станка в три раза больше, чем второго, а третьего – в два раза меньше, чем второго. Определить вероятность того, что взятая наудачу деталь будет бракованной.

3. Какова вероятность того, что квадрат выбранного наудачу целого числа будет оканчиваться цифрой 1.

4. В ОТК поступила партия изделий. Вероятность того, что наудачу взятое изделие стандартно, равна 0,9. Найти вероятность того, что из 100 проверенных изделий окажется стандартных не менее 84.

5. Производятся последовательные испытания приборов на надёжность. Каждый следующий прибор испытывается только в том случае, если предыдущий оказался надёжным. Построить ряд распределения случайного числа испытанных приборов, если вероятность выдержать испытание для каждого из них равна 0,9.

Вариант № 7

1. Вероятность наступления события в каждом из одинаковых и независимых испытаний равна 0,07. Найти вероятность того, что в 1400 испытаниях событие наступит ровно 28 раз.

2. Два автомата производят детали, которые поступают на общий конвейер. Вероятность получения нестандартной детали на первом автомате равна 0,06, а на втором – 0,09. Производительность второго автомата вдвое больше, чем первого. Найти вероятность того, что наудачу взятая с конвейера деталь нестандартна.

3. Из колоды в 52 карты вынимается наудачу три карты. Найти вероятность того, что это тройка, семёрка и туз.

4. Монета подбрасывается 5 раз. Найти вероятность следующих событий:
событие A – все пять раз появится герб;
событие $Б$ – хотя бы один раз появится герб;
событие B – герб появится ровно два раза.

5. В денежной лотерее выпущено 100 билетов. Разыгрывается один выигрыш в 50 руб.; четыре выигрыша по 25 руб.; десять – по 10 руб.; остальные невыигрышные. Составить ряд распределения стоимости выигрыша для владельца одного лотерейного билета (случайная величина X – стоимость возможного выигрыша) и найти математическое ожидание.

Вариант № 8

1. В партии из 100 деталей имеются 10 дефектных. Найти вероятность того, что среди 5 изделий, наудачу взятых из этой партии, только 2 окажутся дефектными.

2. В двух ящиках содержится по 20 деталей, причём из них в первом ящике 17, а во втором – 15 нестандартных деталей. Из второго ящика наудачу извлечена одна деталь и переложена в первый ящик. Найти вероятность того, что наудачу извлеченная деталь из первого ящика будет стандартной.

3. Данное предприятие в среднем даёт 21 % продукции высшего сорта и 70 % продукции первого сорта. Найти вероятность того, что случайно взятое изделие окажется первого или высшего сорта.

4. Вероятность того, что в результате четырёх независимых опытов событие A произойдёт хотя бы один раз, равна 0,5. Определить вероятность появления события A при одном опыте, если она во всех опытах остаётся неизменной.

5. Игральная кость брошена 2 раза. Написать ряд распределения числа появлений «тройки» и найти математическое ожидание.

Вариант № 9

1. Вероятность наступления события в каждом из одинаковых и независимых испытаний равна 0,8. Найти вероятность того, что в 125 испытаниях событие наступит не менее 75 и не более 90 раз.

2. Две перфораторщицы набили по одинаковому комплекту перфокарт, вероятность того, что первая перфораторщица допустит ошибку, равна 0,05, для второй эта вероятность равна 0,1. При сверке перфокарт была обнаружена ошибка. Найти вероятность того, что ошиблась первая перфораторщица.

3. Два студента ищут нужную им книгу в букинистических магазинах. Вероятность того, что книга будет найдена первым студентом, равна 0,6, а вторым – 0,7. Какова вероятность того, что только один из студентов найдет книгу?

4. С помощью карточек, на которых написано по одной букве, составлено слово «карета». Карточки перемешиваются, а затем наугад извлекаются по одной. Какова вероятность, что в порядке поступления букв образуется слово «ракета»?

5. На пути движения автомашины 4 светофора. Каждый из них с вероятностью 0,5 либо разрешает, либо запрещает автомашине дальнейшее движение. Построить ряд и многоугольник распределения вероятностей числа светофоров, пройденных автомашиной без остановки.

Вариант № 10

1. На трёх станках при одинаковых и независимых условиях изготовляются детали одного наименования. На первом станке изготовляется 10 %, на втором – 30 %, на третьем – 60 % всех деталей. Для каждой детали вероятность быть бездефектной равна 0,7, если она изготовлена на первом станке; 0,8 – если она изготовлена на втором станке; 0,9 – на третьем станке. Найти вероятность того, что наугад взятая деталь окажется бездефектной.

2. Для поражения цели достаточно попадания хотя бы одного снаряда. Произведено 2 залпа из двух орудий. Найти вероятность поражения цели, если вероятность попадания в цель при одном выстреле из 1-го орудия равна 0,3, а из второго – 0,4.

3. На столе лежат 36 экзаменационных билетов с номерами 1, 2, …, 36. Преподаватель берёт три любых билета. Какова вероятность того, что они из первых четырёх?

4. Вероятность для данного спортсмена улучшить свой предыдущий результат с одной попытки равна 0,6. Определить вероятность того, что на соревнованиях спортсмен улучшит свой результат, если разрешается делать две попытки.

5. Энергосистема состоит из четырёх блоков, работающих независимо. Вероятность исправного состояния блоков в течение времени T равна 0,6. Рассматривается случайная величина X – число блоков, находящихся в исправном состоянии в течение времени T. Построить ряд распределения, функцию распределения величины X. Найти её математическое ожидание.

Вариант № 11

1. Из трёх орудий произведены залпы по цели. Вероятность попадания в цель при одном выстреле из первого орудия равна 0,9, для второго и третьего орудий эти вероятности соответственно равны 0,8 и 0,6. Найти вероятность того, что только одно орудие попадает в цель.

2. На сборку поступают детали с двух автоматов. Первый автомат даёт 0,2 % брака, а второй – 0,3 % брака. Найти вероятность попадания на сборку бракованной детали, если с первого автомата поступило 3000, а со второго 2000 деталей.

3. На экзамене студенту предлагается 20 билетов. В каждом билете 3 вопроса. Из 60 вопросов, вошедших в билеты, студент знает 50. Какова вероятность того, что взятый студентом билет будет состоять из известных ему вопросов?

4. Аппаратура содержит 2000 одинаково надёжных элементов, вероятность отказа от каждого из которых равна $p = 0{,}0005$. Какова вероятность отказа: а) одного элемента; б) хотя бы одного элемента.

5. В техническом устройстве работают независимо 2 блока. Вероятность безотказной работы первого блока 0,4; второго – 0,7. Случайная величина X – число работающих блоков. Построить ряд распределения, многоугольник распределения случайной величины X. Найти математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение.

Вариант № 12

1. Из 50 проб химического состава рудной массы в 35 пробах обнаружено наличие тяжелых металлов. Найти вероятность того, что тяжёлые металлы содержатся в двух взятых наудачу пробах.

2. Детали проходят три операции обработки. Вероятность получения брака на первой операции равна 0,02; на второй – 0,03; на третьей – 0,02. Найти вероятность получения небракованной детали после трёх операций, предполагая, что получение брака на отдельных операциях являются событиями независимыми.

3. При разрыве снаряда образуются крупные, средние и мелкие осколки в отношении 1 : 3 : 6. При попадании в танк крупный осколок пробивает броню с вероятностью 0,9; средний – 0,3; мелкий – 0,1. Какова вероятность того, что попавший в броню осколок пробьёт её?

4. Случайная величина X задана рядом распределения:

X	2	3	10
P	0,1	0,4	0,5

Найти $M(X); D(X); \sigma(X)$. Написать функцию распределения $F(x)$ и построить её график.

5. Вероятность любому абоненту позвонить на коммутатор в течение часа равна 0,01. Телефонная станция обслуживает 300 абонентов. Какова вероятность, что в течение часа позвонят 4 абонента?

Вариант № 13

1. В каждой из двух урн содержатся 3 чёрных и 7 белых шаров. Из второй урны наудачу извлечен один шар и переложен в первую урну, после чего из первой урны наудачу извлечён один шар. Найти вероятность того, что шар, извлеченный из первой урны, окажется белым.

2. Охотники Александр, Виктор и Павел попадают в летящую утку с вероятностями, соответственно равными: 2/3, 3/4 и 1/4. Все одновременно стреляют по пролетающей утке. Какова вероятность того, что утка будет убита?

3. Детали могут быть изготовлены с применением двух технологий: в первом случае деталь проходит 3 технологических операции, вероятность получения брака при каждой из которых равны, соответственно 0,1; 0,2 и 0,3. Во втором случае имеются 2 операции, вероятности получения брака при которых одинаковы и равны 0,3. Определить, какая технология обеспечивает большую вероятность получения первосортной продукции, если в первом случае вероятность получения продукции первого сорта для небракованной детали равна 0,9, а во втором – 0,8.

4. В течение часа коммутатор получает в среднем 60 вызовов. Какова вероятность того, что в течение 1 минуты не будет ни одного вызова?

5. В денежной лотерее выпущено 1000 билетов. Разыгрывается один выигрыш в 100 руб., четыре – по 50 руб., 5 – по 40 руб. и десять по 10 руб. Составить ряд распределения стоимости выигрыша для владельца одного лотерейного билета (случайная величина X – стоимость возможного выигрыша). Найти $M(X), D(X),$ составить функцию распределения $F(x)$ и построить её график.

Вариант № 14

1. Три автомата изготовляют детали, которые поступают на общий контейнер. Производительность первого, второго и третьего автоматов относится как 2/3/5. Вероятность того, что деталь, изготовленная первым автоматом, отличного качества, равна 0,9, для второго и третьего автоматов эти вероятности, соответственно, равны 0,8 и 0,7. Найти вероятность того, что наудачу взятая с конвейера деталь окажется отличного качества.

2. В записанном номере телефона оказалась стёртой последняя цифра. Какова вероятность того, что, наудачу набирая последнюю цифру телефонного номера, Вы сразу позвоните нужному лицу? Вычислить эту вероятность, предлагая, что Вы вспомнили, что последняя цифра: а) нечётная; б) не больше 5.

3. Производится выстрел по трём складам боеприпасов. Вероятность попадания в первый склад 0,01, во второй – 0,008, в третий – 0,025. При попадании в один из складов взрываются все три. Найти вероятность того, что склады будут взорваны.

4. Случайная величина X задана законом распределения

X	2	4	8
p	0,1	0,5	0,4

Найти среднее квадратическое отклонение этой величины. Написать функцию распределения $F(x)$ и построить её график.

5. Вероятность рождения мальчика равна 0,515. Найти вероятность того, что из 200 родившихся детей мальчиков и девочек будет поровну.

Вариант № 15

1. Для сигнализации об аварии установлены три независимо работающих устройства. Вероятность того, что при аварии первое устройство сработает, равна 0,8, для второго и третьего устройства эти вероятности, соответственно, равны 0,9 и 0,8. Найти вероятность того, что при аварии сработают: а) только одно устройство, б) только два устройства; в) все три устройства.

2. На сборку поступают детали с трёх автоматов. Первый автомат даёт 0,3 % брака, второй – 0,2 % брака, третий – 0,4 % брака. Найти вероятность попадания на сборку бракованной детали, если с первого автомата поступает 1000 деталей, со второго – 2000, а с третьего – 2500.

3. Цифровой замок содержит на общей оси 4 диска, каждый из которых разделён на 6 секторов, отмеченных определёнными цифрами. Замок может быть открыт только в том случае, когда цифры образуют определённую комбинацию. Какова вероятность открыть замок, установив определённую комбинацию цифр?

4. Игральная кость брошена 3 раза. Написать ряд распределения числа появлений шестёрки. Найти $M(X), D(X),$ составить функцию распределения $F(x)$.

5. Вероятность изделия некоторого производства оказаться бракованным равна 0,005. Чему равна вероятность того, что из 10000 наудачу взятых изделий бракованных окажется ровно 40?

Вариант № 16

1. Вероятность хотя бы одного попадания в цель при двух выстрелах равна 0,96. Найти вероятность двух попаданий при трёх выстрелах.

2. На сборку поступают детали с четырёх автоматов. Первый даёт 40 %, второй – 30 %, третий – 20 %, а четвёртый 10 % всех деталей данного типа, которые поступают на сборку. Первый автомат даёт 0,1 % брака, второй – 0,2 %, третий – 0,25 %, четвёртый – 0,5 %. Найти вероятность поступления на сборку бракованной детали.

3. Каждая из букв Т, М, Р, О, Ш написана на одной из пяти карточек. Карточки перемешиваются и раскладываются наугад. Какова вероятность того, что образуется слово «ШТОРМ»?

4. Случайная величина X принимает только два значения $+C$ и $-C$, каждые с вероятностью 0,5. Найти дисперсию этой случайной величины.

5. На склад магазина поступают изделия, из которых 80 % оказывается высшего сорта. Найти вероятность того, что из 100 взятых наугад изделий не менее 85 изделий окажутся высшего сорта.

Вариант № 17

1. Вероятность хотя бы одного попадания в цель при трёх выстрелах равна 0,992. Найти вероятность четырёх попаданий при пяти выстрелах.

2. Однотипные детали поступают на сборку с двух автоматов. Первый автомат даёт 80 % необходимых для сборки деталей, а второй – 20 %. Вероятность детали быть бракованной, если она изготовлена на первом автомате, равна 1 %, если на втором – 4 %. Поступившая на сборку деталь оказалась бракованной. Какова вероятность того, что эта деталь изготовлена: а) на первом автомате;
б) на втором автомате?

3. Телефонный номер состоит из 5 цифр. Определить вероятность того, что все цифры различны.

4. При ведении горных работ происходит загрязнение атмосферы послегазовыми выбросами в 9 из 10 случаев. Найти вероятность того, что при 50 массивных взрывах загрязнение атмосферы наступит не более, чем в 40 случаях.

5. В урне находится 15 белых, 10 чёрных и 3 синих шара. Каждое испытание состоит в том, что наудачу извлекают один шар, не возвращая его в урну. Найти вероятность того, что: а) при первом испытании появится белый шар (событие А), при втором – чёрный (событие В) и при третьем – синий (событие С); б) при первом испытании появится белый шар, а при втором и третьем – чёрные шары.

Вариант № 18

1. Вероятность появления события в каждом из независимых испытаний равна 0,8. Найти вероятность того, что событие наступит 120 раз в 144 испытаниях.

2. Рабочий обслуживает 4 станка. Вероятность того, что в течение часа первый станок не потребует внимания рабочего, равна 0,3; второй – 0,4; третий – 0,7; четвёртый – 0,4. Найти вероятность того, что в течение часа ни один станок не потребует внимания рабочего. Найти вероятность того, что в течение часа ни один станок не потребует внимания рабочего.

3. Литьё в болванках поступает с двух заготовительных цехов – 70 % из первого и 30 % из второго. При этом материал первого цеха имеет 10 % брака, а второго – 20 %. Найти вероятность того, что одна наудачу взятая болванка без дефектов.

4. Случайная величина принимает только два значения – +10 и -10, каждое с вероятностью 0,5. Найти среднее квадратическое отклонение этой величины.

5. В урне 15 белых и 20 чёрных шаров. Из урны вынимают два шара. Найти вероятность того, что: 1) оба шара будут чёрными; 2) оба шара будут разного цвета.

Вариант № 19

1. Партия деталей изготовлена двумя рабочими. Первый рабочий изготовил 2/3 партии, второй – 1/3 партии. Вероятность брака для первого рабочего 1 %, для второго – 10 %. На контроль взяли одну деталь. Какова вероятность того, что она бракованная?

2. Из зенитного орудия производится три выстрела по снижающемуся самолёту. Вероятность попадания при первом, втором и третьем выстрелах равны, соответственно, 0,1; 0,2; 0,4. Определить вероятность не менее двух попаданий в самолёт.

3. Найти функции распределения $F(x)$, математическое ожидание, дисперсию, среднее квадратическое отклонение, если известен ряд распределения случайной величины X:

X	2	3	5
P	0,3	0,1	0,6

4. На восьми одинаковых карточках написаны, соответственно, числа 2, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 13. Наугад берутся две карточки. Определить вероятность того, что образованная из двух полученных чисел дробь сократится.

5. Имеется три одинаковых урны, из которых в первой находится два белых и два чёрных шара, во второй и третьей – по три белых и четыре черных шара. Из урны, взятой наудачу, извлечён белый шар. Найти вероятность того, что шар извлечён: а) из второй урны; б) из первой урны.

Вариант № 20

1. Сборщик получил 3 ящика деталей. В первом ящике 40 деталей, из них 20 окрашенных; во втором – 50, из них 10 окрашенных; в третьем – 30, из них 15 окрашенных. Найти вероятность того, что наудачу извлечённая деталь из наудачу взятого ящика окажется окрашенной.

2. Вероятность того, что студент сдаст первый экзамен, равна 0,9; второй – 0,9; третий – 0,8. Вычислить вероятность того, что хотя бы два экзамена будут сданы.

3. Производится два выстрела с вероятностями попадания в цель, равными $p_1 = 0{,}4;\ p_2 = 0{,}3$. а) записать ряд распределения случайной величины X – общего числа попаданий при двух выстрелах; б) найти математическое ожидание общего числа попаданий при двух выстрелах; в) найти дисперсию и построить многоугольник распределения.

4. Из колоды карт (36) наудачу вынимается две карты. Найти вероятность того, что среди них одна «дама» и один «король».

5. Вероятность того, что изготовленная на первом станке деталь будет первосортной, равна 0,6. При изготовлении такой же детали на втором станке эта вероятность равна 0,7. На обоих станках изготовлено по две детали. Найти вероятность того, что все детали первосортные.

Вариант № 21

1. Ящик содержит 90 годных и 10 дефектных изделий. Найти вероятность того, что среди трёх наугад вынутых из ящика деталей нет дефектных.

2. Три электрические лампочки последовательно включены в цепь. Вероятность того, что одна (любая) лампочка перегорит, равна 0,6. Найти вероятность того, что тока в цепи не будет.

3. Имеется 5 урн: в двух урнах – по 2 белых и 1 чёрному шару; в одной 10 чёрных и ещё в двух – по 3 белых и 1 чёрному шару. Найти вероятность того, что вынутый из наудачу взятой урны шар окажется белым.

4. Из колоды в 36 карт вынимается наудачу две карты. Найти вероятность того, что это шестёрка и семёрка.

5. В лотерее 100 билетов, из них на 1 билет падает выигрыш 25 руб.; на 5 билетов – 20 руб.; на 10 билетов – 5 руб.; на 20 билетов – 1 руб.; остальные билеты невыигрышные. Найти вероятность выигрыша не менее 5 руб. на 1 билет. Составить ряд распределения случайной величины X – стоимости выигрыша на 1 билет. Найти математическое ожидание и дисперсию.

Билет № 22

1. Чему равна вероятность того, что дни рождения трёх человек придутся на разные месяцы: июнь, июль и август? Вероятности попадания дня рождения на данный месяц считаются равными для всех месяцев года.

2. Студент знает 40 вопросов из 50. Каждый экзаменационный билет содержит три вопроса. Найти вероятность того, что студент знает:

а) все три вопроса; б) только два вопроса.

3. Имеются три одинаковые урны: первая содержит 1 белый и 6 чёрных шаров; вторая – 3 белых и 2 чёрных шара; третья – 7 белых и 8 чёрных шаров. Из одной урны, наудачу выбранной, вынут шар. Он оказался белым. Чему равна вероятность того, что шар вынут из первой урны?

4. Прибор, обладающий надёжностью (вероятностью безотказной работы за время t), равной $p = 0{,}8$, представляется недостаточно надёжным. Для повышения надёжности он дублируется ещё одним точно таким же работающим прибором. Если первый прибор за время t отказал, происходит автоматическое переключение на дублирующий. Приборы отказывают независимо друг от друга. Найти вероятность того, что система из двух приборов прорабатывает безотказно время t.

5. Электронная аппаратура имеет три дублирующих линии. Вероятность выхода из строя каждой линии за время гарантированного срока работы аппаратуры равна 0,1. Найти закон распределения случайного числа вышедших из строя линий за время гарантийного срока, если выход из строя одной линии не зависит от рабочего состояния других линий. Найти $M(X), \sigma(X)$.

Вариант № 23

1. При разведке медноколчеданных месторождений в 7 из 10 случаев опознавательным признаком может служить присутствие ярозита или барита. Найти вероятность присутствия минералов хотя бы в одном из трёх месторождений.

2. Студент знает 25 вопросов из 30. Каждый экзаменационный билет содержит два вопроса. Найти вероятность того, что студент знает: а) оба вопроса; б) хотя бы один вопрос.

3. В урне A белых, B чёрных и C красных шаров. Наугад вынимаются 3 шара. Найти вероятность того, что все вынутые шары будут разных цветов.

4. Имеется десять одинаковых урн, из которых в девяти находятся по 2 чёрных и по 2 белых шара, а в одной – 5 белых и 1 чёрный шар. Из урны, взятой наудачу, извлечён белый шар. Какова вероятность того, что шар извлечён из урны, содержащей 5 белых шаров?

5. Противник стремится сорвать связь, создавая помехи в двухчастотных диапазонах со средними частотами f_1 и f_2. С этой целью мешающий передатчик настраивается попеременно на частоты f_1 и f_2 через равные промежутки времени. Вероятность сбоя от помехи на частоте f_1 составляет 0,3, а на частоте f_2 – 0,6. Какова вероятность того, что связь будет сорвана?

Вариант № 24

1. При установке одного пылеуловителя вероятность выброса в атмосферу вредных веществ составляет 0,8. Сколько пылеуловителей нужно поставить последовательно, чтобы сократить вероятность выбросов в 1,5 раза?

2. В круг радиуса R вписан равносторонний треугольник. Какова вероятность того, что две наугад поставленные в данном круге точки окажутся внутри треугольника?

3. Из урны, содержащей 3 белых и 2 чёрных шара, переложили 1 шар в урну, содержащую 4 белых и 4 чёрных шара. Вычислить вероятность вынуть белый шар из второй урны.

4. Вероятность изделия некоторого производства оказаться доброкачественным равна 0,996. Чему равна вероятность того, что из 1000 наудачу взятых изделий бракованных окажется ровно 5?

5. Стрелок производит три выстрела по мишени. Вероятность попадания в мишень при каждом выстреле равна 0,6. За каждое попадание стрелку засчитывается 3 очка. Построить ряд распределения числа выбитых очков и многоугольник распределения. Найти математическое ожидание.

Вариант № 25

1. Для некоторой местности среднее число дождливых дней в августе равно 11. Чему равна вероятность того, что первые два дня августа будут дождливыми?

2. Вероятность того, что изготовленная на первом станке деталь будет первосортной, равна 0,7. При изготовлении такой же детали на втором станке эта вероятность равна 0,8. На первом станке изготовлено две детали, на втором – три. Найти вероятность того, что все детали первосортные.

3. Два стрелка независимо один от другого стреляют по одной мишени, причём каждый из них делает по одному выстрелу. Вероятность попадания в мишень для первого стрелка – 0,8, для второго – 0,4. После стрельбы в мишени обнаружена одна пробоина. Найти вероятность того, что она принадлежит первому стрелку.

4. Найти вероятность того, что из 500 посеянных семян не взойдёт 120, если всхожесть семян оценивается вероятностью 0,8.

5. Производятся последовательные испытания четырёх приборов на надёжность. Каждый следующий прибор испытывается только в том случае, если предыдущий оказался надёжным. Построить ряд распределения случайного числа испытанных приборов, если вероятность выдержать испытание для каждого из них равна 0,9. Найти математическое ожидание $M(X)$.

Вариант № 26

1. Сборщик получил 2 коробки одинаковых деталей, изготовленных заводом № 1, и три коробки деталей, изготовленных заводом № 2. Вероятность того, что деталь завода № 1 стандартна, равна 0,9, а завода № 2 – 0,7. Из наудачу взятой коробки сборщик наудачу извлёк деталь. Найти вероятность того, что извлечена стандартная деталь.

2. Брошены две игральные кости. Предполагается, что все комбинации выпавших очков равновероятны. Найти условную вероятность того, что выпали две пятёрки, если известно, что сумма выпавших очков делится на 5.

3. Производится три выстрела по одной и той же мишени. Вероятности попадания при первом, втором и третьем выстрелах равны, соответственно, 0,4; 0,5; 0,7. Найти вероятность того, что в результате этих трёх выстрелов в мишени будет одна пробоина.

4. ОТК проверяет детали на стандартность. Вероятность того, что изделие стандартно, равна 0,9. Найти вероятность того, что: 1) три первых проверенных изделия стандартны; 2) нестандартным окажется третье по порядку проверки изделие; 3) из трёх проверенных изделий только одно стандартно.

5. Дискретная случайная величина X задана следующим рядом распределения:

X	0	1	3	4
P	0,1	0,2	0,6	0,1

Найти функцию распределения и построить её график. Найти $M(X)$ и $D(X)$.

Вариант № 27

1. В урне A белых и B черных шаров. Из урны вынимается шар, отмечается его цвет, и шар возвращается в урну. После этого из урны берётся ещё один шар. Найти вероятность того, что оба вынутые шары – белые.

2. Вероятность попасть в цель равна 0,01. Сколько нужно сделать выстрелов, чтобы иметь хотя бы одно попадание: а) с вероятностью, не меньшей 0,5; б) с вероятностью, не меньшей 0,9?

3. Вероятность рождения мальчика равна 0,51. Найти вероятность того, что из 300 родившихся детей будут 160 мальчиков.

4. Для участия в студенческих отборочных спортивных соревнованиях выделено из первой группы курса – 4, из второй – 6, из третьей – 5 студентов. Вероятности того, что студент первой, второй и третьей группы попадает в сборную института, соответственно, равны 0,5; 0,7; 0,8. Наудачу выбранный студент в итоге соревнования попал в сборную. Найти вероятность того, что он принадлежит второй группе.

5. Вероятность появления случайного события A в одном испытании равна 0,6. Проведено два независимых испытания. Составить ряд распределения случайной величины X – числа появлений события A в двух независимых испытаниях и найти математическое ожидание и дисперсию.

Вариант № 28

1. Вероятность появления события в каждом из независимых испытаний равна 0,8. Найти вероятность того, что в 100 испытаниях событие появится 76 раз.

2. На обувной фабрике в отдельных цехах производятся подмётки, каблуки и верхи ботинок. Дефектными оказываются 1 % каблуков, 4 % подмёток и 5 % верхов. Произведённые каблуки, подмётки и верхи случайным образом комбинируются в цехе, где и шьются ботинки. Найти вероятность не быть испорченным одному ботинку. Какой процент ботинок будет испорченным, т. е. будет содержать дефекты?

3. По танку производятся два одиночных выстрела. Вероятность попадания при первом – 0,5, при втором – 0,8. Для вывода танка из строя достаточно двух попаданий. При одном попадании танк выходит из строя с вероятностью 0,4. Найти вероятность того, что в результате двух выстрелов танк будет выведен из строя.

4. В двух ящиках находятся детали: в первом – 10 (из них три стандартные); во втором – 15 (из них 6 стандартные). Из каждого ящика наудачу вынимают по одной детали. Найти вероятность того, что: 1) обе детали окажутся стандартными; 2) только одна из двух деталей стандартная; 3) хотя бы одна из двух деталей стандартная.

5. Случайная величина задана законом распределения:

X	2	4	8
P	0,1	0,5	0,4

Найти среднее квадратическое отклонение этой величины.

Вариант № 29

1. Сколько нужно передать одинаковых сообщений, чтобы с вероятностью 0,9 можно было утверждать, что сообщение принято не менее одного раза правильно, если вероятность правильного приёма сообщения составляет 0,5?

2. Вероятность для изделий некоторого производства удовлетворять стандарту равна 0,96. Предполагается упрощённая схема испытаний, дающая положительный результат с вероятностью 0,98 для изделий, удовлетворяющих стандарту, и 0,05 для изделий, которые ему не удовлетворяют. Какова вероятность того, что изделие, выдержавшее испытание, удовлетворяет стандарту?

3. В студии телевидения имеется 3 телевизионные камеры. Для каждой камеры вероятность того, что она включена в данный момент, равна 0,6. Найти вероятность того, что в данный момент: а) включена хотя бы одна камера; б) включена только одна камера; в) включены все три камеры; г) выключены все камеры.

4. Имеются две партии изделий по 12 и 10 штук, причём в каждой партии по два изделия бракованных. Изделие, взятое наудачу из первой партии, переложено во вторую, после чего выбирается наудачу изделие из второй партии. Определить вероятность бракованного изделия из второй партии.

5. Найти математическое ожидание числа очков, которые могут выпасть при одном бросании игральной кости. Записать закон распределения в виде таблицы. Найти $D(X)$.

Вариант № 30

1. Вероятность появления события A в каждом из независимых испытаний равна 0,64. Произведено144 испытания. Найти вероятность того, что событие A появится не менее 100 раз.

2. Вероятность попадания в первую мишень для данного стрелка равна 2/3. Если при первом выстреле зафиксировано попадание, то стрелок получает право на второй выстрел по другой мишени. Вероятность поражения обеих мишеней при двух выстрелах равна 0,5. Определить вероятность поражения второй мишени.

3. В урне 5 белых и 7 чёрных шаров. Из урны вынимают два шара. Найти вероятность того, что оба шара будут белыми.

4. В батарее из 10 орудий одно непристрелянное. Вероятность попадания из пристрелянного орудия равна 0,73, а из непристрелянного – 0,23. Производили один выстрел и промахнулись. Найти вероятность того, что выстрел произведён из непристрелянного орудия.

5. Построить ряд распределения, многоугольник распределения и функцию распределения случайного числа попаданий мячом в корзину при одном броске, если вероятность попадания p = 0,3. Найти математическое ожидание и дисперсию.

Задание 6

Дискретная случайная величина X может принимать только два значения: x_1 и x_2, причём $x_1 < x_2$. Известны вероятность p_1 возможного значения x_1, математическое ожидание *M*(X) и дисперсия *D*(X). Найти закон распределения этой случайной величины, если:

Таблица 1

Данные для нахождения закона распределения случайной величины

Номер варианта	p_1	***M*(*X*)**	***D*(*X*)**
1	0,2	3,8	0,16
2	0,1	3,9	0,09
3	0,3	3,7	0,21
4	0,5	3,5	0,25
5	0,7	3,3	0,21
6	0,9	3,1	0,09
7	0,9	2,2	0,36
8	0,8	3,2	0,16
9	0,6	3,4	0,24
10	0,4	3,6	0,24
11	0,3	5,4	0,84
12	0,1	4,8	0,36
13	0,3	4,1	1,89
14	0,5	4,5	2,25
15	0,7	2,9	1,89
16	0,9	1,4	1,44
17	0,3	2,4	0,84
18	0,9	3,3	0,81
19	0,3	2,7	0,21
20	0,4	2,2	0,96

Продолжение таблицы 1

Номер варианта	p_1	***M*(*X*)**	***D*(*X*)**
21	0,9	4,1	0,09
22	0,7	3,9	1,89
23	0,1	5,8	0,36
24	0,2	2,6	0,64
25	0,1	1,9	0,09
26	0,3	3,1	1,89
27	0,5	3	1
28	0,4	2,6	0,24
29	0,6	3,2	2,16
30	0,6	3,6	3,84

Задание 7

Случайная величина X задана функцией распределения $F(x)$. Найти плотность вероятности $f(x)$, математическое ожидание $M(X)$, дисперсию $D(X)$. Построить графики функций $F(x)$ и $f(x)$. Найти вероятность того, что случайная величина X примет значение, заключенное в интервале $(a;b)$.

Таблица 2

Данные для выполнения задания № 7

Номер вар.	Функция $F(x)$	Номер вар.	Функция $F(x)$
1	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le \frac{3}{4}\pi \\ \cos 2x, & \frac{3}{4}\pi < x \le \pi \\ 1, & \text{при } x > \pi \end{cases}$ $\left(\frac{3}{4}\pi;\ \frac{5}{6}\pi\right)$	2	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ x^2, & \text{при } 0 < x \le 1 \\ 1, & \text{при } x > 1 \end{cases}$ $\left(\frac{1}{3};\ \frac{1}{2}\right)$
3	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 1 \\ \frac{x^2 - x}{2}, & \text{при } 1 < x \le 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$ $(1{,}5;\ 1{,}8)$	4	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ x^3, & \text{при } 0 < x \le 1 \\ 1, & \text{при } x > 1 \end{cases}$ $\left(\frac{1}{3};\ \frac{1}{2}\right)$
5	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ 3x^2 + 2x, & \text{при } 0 < x \le \frac{1}{3} \\ 1, & \text{при } x > \frac{1}{3} \end{cases}$ $\left(\frac{1}{5};\ \frac{1}{4}\right)$	6	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 2 \\ 0{,}5x - 1, & \text{при } 2 < x \le 4 \\ 1, & \text{при } x > 4 \end{cases}$ $(1;\ 3)$
7	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \frac{1}{9}x^2, & \text{при } 0 < x \le 3 \\ 1, & \text{при } x > 3 \end{cases}$ $(1;\ 2)$	8	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \frac{x^2}{4}, & \text{при } 0 < x \le 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$ $(1;\ 2)$

Продолжение таблицы 2

Номер вар.	**Функция** $F(x)$	**Номер вар.**	**Функция** $F(x)$
9	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le -\frac{\pi}{2} \\ \cos x, & -\frac{\pi}{2} < x \le 0 \\ 1, & \text{при } x > 0 \end{cases}$ $\left(-\frac{\pi}{3};\ -\frac{\pi}{6}\right)$	10	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ 2\sin x, & 0 < x \le \frac{\pi}{6} \\ 1, & \text{при } x > \frac{\pi}{6} \end{cases}$ $\left(\frac{\pi}{12};\ \frac{\pi}{6}\right)$
11	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le -2 \\ \frac{x+2}{4}, & \text{при } -2 < x \le 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$ $(-1;\ 1)$	12	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < -\frac{\pi}{2} \\ \frac{1+\sin x}{2}, & -\frac{\pi}{2} \le x \le \frac{\pi}{2} \\ 1, & \text{при } x > \frac{\pi}{2} \end{cases}$ $\left(-\frac{\pi}{4};\ \frac{\pi}{4}\right)$
13	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \frac{1-\cos x}{2}, & 0 \le x \le \pi \\ 1, & \text{при } x > \pi \end{cases}$ $\left(\frac{\pi}{4};\ \frac{\pi}{3}\right)$	14	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \frac{x^2}{25}, & \text{при } 0 < x \le 5 \\ 1, & \text{при } x > 5 \end{cases}$ $(4;\ 5)$

Продолжение таблицы 2

Номер вар.	**Функция** $F(x)$	**Номер вар.**	**Функция** $F(x)$
15	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < -1 \\ \frac{3}{4}(x+1), & -1 < x \le \frac{1}{3} \\ 1, & \text{при } x > \frac{1}{3} \end{cases}$ $\left(0;\ \frac{1}{2}\right)$	16	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \sin 2x, & 0 < x \le \frac{\pi}{4} \\ 1, & \text{при } x > \frac{\pi}{4} \end{cases}$ $\left(0;\ \frac{\pi}{3}\right)$
17	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ 1-\cos x, & 0 < x \le \frac{\pi}{2} \\ 1, & \text{при } x > \frac{\pi}{2} \end{cases}$ $\left(\frac{\pi}{6};\ \frac{\pi}{3}\right)$	18	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le -1 \\ \frac{x+1}{3}, & \text{при } -1 < x \le 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$ $(0{,}5;\ 1{,}5)$
19	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \frac{x^2}{36}, & \text{при } 0 < x \le 6 \\ 1, & \text{при } x > 6 \end{cases}$ $(2;\ 4)$	20	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \frac{x^2}{100}, & \text{при } 0 < x \le 10 \\ 1, & \text{при } x > 10 \end{cases}$ $(5;\ 10)$

Продолжение таблицы 2

Номер вар.	**Функция** $F(x)$	**Номер вар.**	**Функция** $F(x)$
21	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le -1 \\ \dfrac{x+1}{2}, & \text{при } -1 < x \le 1 \\ 1, & \text{при } x > 1 \end{cases}$ $\left(0;\ \frac{1}{2}\right)$	22	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 1 \\ \dfrac{x-1}{2}, & \text{при } 1 \le x \le 3 \\ 1, & \text{при } x > 3 \end{cases}$ $(1;\ 2)$
23	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le 0 \\ \dfrac{x^3}{8}, & \text{при } 0 < x \le 2 \\ 1, & \text{при } x > 2 \end{cases}$ $(1;\ 2)$	24	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \dfrac{1}{3}x, & \text{при } 0 \le x \le 3 \\ 1, & \text{при } x > 3 \end{cases}$ $(1;\ 2)$
25	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \dfrac{1}{4}x, & \text{при } 0 \le x \le 4 \\ 1, & \text{при } x > 4 \end{cases}$ $(1;\ 2)$	26	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \dfrac{1}{5}x, & \text{при } 0 \le x \le 5 \\ 1, & \text{при } x > 5 \end{cases}$ $(1;\ 3)$
27	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \sin x, & 0 \le x \le \dfrac{\pi}{2} \\ 1, & \text{при } x > \dfrac{\pi}{2} \end{cases}$ $\left(0;\ \frac{\pi}{3}\right)$	28	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < -\dfrac{\pi}{2} \\ \cos 3x, & -\dfrac{\pi}{2} < x \le 0 \\ 1, & \text{при } x > 0 \end{cases}$ $\left(-\frac{\pi}{3};\ 0\right)$

Окончание таблицы 2

Номер вар.	Функция $F(x)$	Номер вар.	Функция $F(x)$
29	$\begin{cases} 0, & \text{при } x \le \frac{\pi}{2} \\ -\cos x, & \frac{\pi}{2} < x \le \pi \\ 1, & \text{при } x > \pi \end{cases}$ $\left(\frac{\pi}{2};\ \frac{3\pi}{4}\right)$	30	$\begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \\ \frac{x^3}{27}, & \text{при } 0 \le x \le 3 \\ 1, & \text{при } x > 3 \end{cases}$ $(1;\ 2)$

Задание 8

Найти вероятность того, что в n независимых испытаниях событие A повторяется: а) ровно k раз; б) не менее k раз; в) не более k раз; г) хотя бы один раз, зная что в каждом испытании вероятность появления события A равна p.

Таблица 3

Данные для выполнения задания № 8

Номер варианта	*n*	*k*	*p*	Номер варианта	*n*	*k*	*p*
1	6	3	0,7	2	7	2	0,2
3	6	4	0,2	4	5	3	0,1
5	4	3	0,7	6	6	4	0,1
7	5	4	0,5	8	6	2	0,8
9	4	3	0,8	10	3	2	0,8
11	4	2	0,9	12	4	2	0,8
13	5	2	0,7	14	5	3	0,6
15	4	2	0,5	16	4	3	0,4
17	5	2	0,3	18	5	3	0,4

Окончание таблицы 3

Номер варианта	***n***	***k***	***p***	**Номер варианта**	***n***	***k***	***p***
19	4	2	0,3	20	4	3	0,2
21	5	2	0,1	22	5	2	0,2
23	4	3	0,3	24	3	2	0,4
25	5	3	0,5	26	6	3	0,6
27	4	2	0,7	28	5	4	0,8
29	6	4	0,9	30	6	5	0,1

Задание 9

Известны математическое ожидание a и среднее квадратическое отклонение σ нормально распределённой величины X. Найти вероятность попадания этой величины в заданный интервал (α, β).

Таблица 4

Данные для выполнения задания № 9

Номер варианта	***a***	σ	α	β	**Номер варианта**	***a***	σ	α	β
1	2	4	6	10	2	10	4	2	13
3	9	5	5	14	4	8	1	4	9
5	7	2	3	10	6	6	3	2	11
7	5	1	1	12	8	4	5	2	11
9	3	2	3	10	10	2	5	4	9
11	2	2	1	5	12	3	2	2	6
13	4	3	3	7	14	7	3	4	8
15	6	3	5	9	16	4	1	1	5
17	4	2	2	6	18	5	2	3	7
19	5	3	4	8	20	6	3	5	9

Окончание таблицы 4

Номер варианта	***a***	σ	α	β	**Номер варианта**	***a***	σ	α	β
21	3	4	6	10	22	5	3	5	9
23	2	2	4	6	24	3	2	1	5
25	7	2	3	13	26	9	5	7	14
27	6	2	2	12	28	2	2	4	7
29	8	4	4	13	30	6	3	2	12

Исходные данные к расчётным заданиям № 10 – 15 приведены в таблице 5 в конце заданий.

Задание 10

Бросаются две игральные кости. Определить вероятность того, что: а) сумма числа очков не превосходит n; б) произведение числа очков не превосходит n; в) произведение числа очков делится на n.

Задание 11

Среди n лотерейных билетов k выигрышных. Наудачу взяли m билетов. Определить вероятность того, что среди них l выигрышных.

Задание 12

В лифт k-этажного дома вошли n пассажиров $(n < k)$. Каждый независимо от других с одинаковой вероятностью может выйти на любом (начиная со второго) этаже. Определить вероятности того, что: а) все пассажиры выйдут одновременно на одном и том же этаже; б) все вышли на разных этажах.

Задание 13

В круге радиуса R наудачу появляется точка. Определить вероятность того, что она попадает в одну из двух непересекающихся фигур, площади которых равны S_1 и S_2.

Задание 14

Вероятность того, что цель поражена при одном выстреле первым стрелком p_1, вторым – p_2. Первый сделал n_1, второй – n_2 выстрелов. Определить вероятность того, что цель не поражена.

Задание 15

Два игрока поочередно бросают монету. Выигравшим считается тот, у кого раньше выпадет герб. Первый бросок делает игрок A, второй – B, третий A и т. д.

Найти вероятность указанного ниже события.

Варианты 1 – 8. Выиграл A до k-ого броска.

Варианты 9 – 15. Выиграл A не позднее k-ого броска.

Варианты 16 – 23. Выиграл B до k-ого броска.

Варианты 24 – 30. Выиграл B не позднее k-ого броска.

Задание 16

Дана плотность распределения $f(x)$ случайной величины X. Найти параметр γ, математическое ожидание $M(X)$, дисперсию $D(X)$, функцию распределения случайной величины X, вероятность выполнения неравенства $x_1 < X < x_2$.

Варианты $1-8$: $f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{\gamma-a}, & x\in[a;b],\\ 0, & x\overline{\in}[a;b].\end{cases}$

Варианты $9-16$: $f(x)=\begin{cases}a, & x\in[\gamma;b],\\ 0, & x\overline{\in}[\gamma;b].\end{cases}$

Варианты $17-24$: $f(x)=\begin{cases}\gamma, & x\in[a;b],\\ 0, & x\overline{\in}[a;b].\end{cases}$

Варианты $25-30$: $f(x)=\begin{cases}a, & x\in\left[\dfrac{b-\gamma}{2};\dfrac{b+\gamma}{2}\right],\\ 0, & x\overline{\in}\left[\dfrac{b-\gamma}{2};\dfrac{b+\gamma}{2}\right].\end{cases}$

Указание

Использовать формулы равномерного распределения.

Задание 17

Плотность распределения вероятностей случайной величины X имеет вид $F(x)=\gamma e^{ax^2+bx+c}$. Найти γ, математическое ожидание $M(X)$, дисперсию $D(X)$, функцию распределения случайной величины X, вероятность выполнения неравенства $x_1<X<x_2$.

Указание

Использовать формулы для нормального распределения.

Задание 18

Дана плотность распределения случайной величины X. Найти математическое ожидание $M(Y)$ и дисперсию $D(Y)$ случайной величины Y, которая представляет собой площадь одной из указанных ниже геометрических фигур.

Варианты 1-15: $f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{b-a}, & x\in[a;b],\\ 0, & x\overline{\in}[a;b];\end{cases}$

в вариантах 1 – 5: Y – площадь равностороннего треугольника со стороной x;

в вариантах 6 – 10: Y – площадь круга радиуса x;

в вариантах 11 – 15: Y – площадь квадрата со стороной x.

Варианты16-31: $f(x)=\begin{cases}\dfrac{2(x-a)}{(b-a)^2}, & x\in[a;b],\\ 0, & x\overline{\in}[a;b];\end{cases}$

в вариантах 16 – 20: Y – площадь равностороннего треугольника со стороной x;

в вариантах 21– 25: Y – площадь круга радиуса x;

в вариантах 26 – 31: Y – площадь квадрата со стороной x.

Таблица 5

Исходные данные к расчётным заданиям

Номер варианта	Задание № 10	Задание № 11				Задание № 12		Задание № 13		
	n	***n***	***l***	***m***	***k***	***k***	***n***	***R***	S_1	S_2
1	3	10	2	4	6	6	4	11	2,25	3,52
2	4	10	2	3	6	7	4	12	2,37	3,52
3	5	10	3	5	7	8	5	13	2,49	3,52
4	6	10	3	5	6	9	5	14	2,55	1,57
5	7	11	2	5	7	10	6	11	2,27	5,57
6	8	11	3	4	8	11	4	12	2,39	5,57
7	9	11	3	5	7	12	4	13	2,51	1,57
8	10	12	3	8	5	13	3	14	2,57	3,52
9	3	12	2	8	3	14	3	11	2,29	3,52
10	4	12	2	5	4	13	4	12	2,41	3,52
11	5	9	2	4	6	12	3	13	2,53	3,52
12	6	9	3	5	6	11	3	14	2,59	5,57
13	7	9	2	3	7	10	4	15	2,5	8,7
14	8	8	2	4	5	9	4	16	2,6	8,5
15	9	8	2	5	4	8	3	11	2,2	3,5
16	10	8	3	4	5	7	3	12	2,4	3,5
17	11	10	4	6	5	6	4	13	2,5	3,5
18	12	10	5	7	7	7	4	14	2,6	1,8
19	13	10	4	6	7	8	5	15	2,7	7,9
20	14	12	4	8	6	9	5	16	2,7	8,2
21	15	8	2	3	4	10	6	11	2,3	3,5
22	16	8	2	3	5	11	4	12	2,4	3,5
23	17	8	2	4	3	12	4	13	2,5	3,5

Окончание таблицы 5

номер варианта	Задание № 10	Задание № 11				Задание № 12		Задание № 13		
	n	***n***	***l***	***m***	***K***	***k***	***n***	***R***	S_1	S_2
24	18	8	3	5	4	13	3	14	2,6	5,6
25	19	8	1	4	2	14	3	15	2,5	8,7
26	20	9	2	3	5	12	3	11	2,3	5,6
27	3	9	3	4	4	11	3	12	2,4	5,6
28	4	9	2	6	3	10	4	13	2,5	3,5
29	5	9	4	5	5	9	4	14	2,6	5,6
30	6	9	3	5	4	8	3	15	2,7	7,9

В первой горизонтальной строке указаны номера задач; в левом столбце – номера вариантов.

Таблица 6

Исходные данные к расчётным заданиям

Номер варианта	Задание № 14				Зад. № 15	Задание № 16				Задание № 17					Задание № 18	
	p_1	p_2	n_1	n_2	***k***	***a***	***b***	x_1	x_2	***a***	***b***	***c***	x_1	x_2	***a***	***b***
1	0,61	0,55	2	3	4	2,5	4	3	3,3	-2	8	-2	1	3	0	2
2	0,62	0,54	3	2	5	1,5	3	2	2,6	-2	4/3	-2/3	1/3	2/3	1	2
3	0,63	0,53	2	3	6	1,5	2,5	2	2,3	-2	-8	2	-3/2	-1	2	3
4	0,64	0,52	3	2	7	1	3,5	2	2,8	-4	6	2	0	3/4	2	4
5	0,65	0,51	2	3	8	-1	2	-0,7	1,1	-3	3	-2	1/2	3/2	3	5
6	0,66	0,49	3	2	9	-2	1	-1,5	0,3	-4	-6	-2	-3/4	1/4	0	2
7	0,67	0,48	2	3	10	-3	5	-2	2	-3	-3	2	-1/2	3/2	1	3
8	0,68	0,43	3	2	11	-1,5	2,5	-1	0	-3	-4	2	1/3	4/3	2	4
9	0,69	0,46	2	3	4	1	1,8	1,3	1,6	-2	-4/3	2/3	-1/3	2/3	3	5
10	0,71	0,45	3	2	5	1	2,4	1,5	2	-3	4	-2	-1/3	5/3	4	6

Окончание таблицы 6

Номер варианта	**Задание № 14**				**Задание № 15**	**Задание № 16**				**Задание № 17**					**Задание № 18**	
	p_1	p_2	n_1	n_2	***k***	***a***	***b***	x_1	x_2	***a***	***b***	***c***	x_1	x_2	***a***	***b***
11	0,72	0,44	2	3	6	2	3,5	2,5	3	-2	8	0	1	3	0	2
12	0,73	0,43	3	2	7	2	2,8	2,1	2,5	-2	1,3	0	1/3	2/3	1	2
13	0,74	0,42	2	3	8	1	2,8	-1	3	-2	-8	0	-3/2	-1	2	3
14	0,75	0,41	3	2	9	1	2,6	1,5	3	-4	6	0	0	3/4	2	4
15	0,76	0,39	2	3	10	2	3	1	3	-3	3	0	1/2	3/2	3	5
16	0,77	0,38	3	2	12	2	4,8	4,5	5	-4	-6	0	-3/4	1/4	0	2
17	0,78	0,37	2	3	5	-4	-2	-1	0	-3	-3	0	-1/2	3/2	1	3
18	0,39	0,45	3	2	6	-3	-1	-2	0	-3	-4	0	1/3	4/3	2	4
19	0,38	0,46	2	3	7	2	4	0	3	-2	-4/3	0	-1/3	2/3	3	5
20	0,37	0,47	3	2	8	1	3	0	2	-3	4	0	-1/3	5/3	4	6
21	0,36	0,48	2	3	9	1	1,5	0	0,5	-2	8	-1	1	3	0	2
22	0,35	0,49	3	2	10	-1	1,5	0	1	-4	6	1	0	3/4	1	2
23	0,34	0,51	2	3	11	-1,5	-1	-1	2	-2	-8	-1	-3/2	-1	3	4
24	0,33	0,52	3	2	4	-1,5	1	-1	1	-4	-6	-1	-3/4	1/4	2	4
25	0,32	0,53	2	3	5	0,5	1	0	3	-3	3	-1	1/2	3/2	3	5
26	0,31	0,54	3	2	6	0,2	2	0	4	-3	-4	1	1/3	4/3	3	4
27	0,29	0,55	2	3	7	0,5	3	0	0,5	-3	-3	1	-1/2	3/2	0	2
28	0,28	0,56	3	2	8	0,4	4	1	5	-3	4	-1	-1/3	5/3	1	3
29	0,27	0,57	2	3	9	1/4	1	0	3	-2	-4/3	1/3	-1/3	2/3	2	4
30	0,26	0,58	3	2	10	0,02	2	0	3	-2	4/3	-1/3	1/3	2/3	3	5

ОТВЕТЫ

Вариант № 1

1) $\frac{1}{144}$; 2) 0,25; 3) $\frac{91}{216}$;

4) ≈ 0,5; ≈ 0,9599; ≈ 0,8664;

5)

X	0	1	2	3
P	0,125	0,375	0,375	0,125

Вариант № 2

1) ≈ 0,41; ≈ 0,43; ≈ 0,14;

2) 0,126; 3) $\frac{5}{8}$; 4) ≈ 0,28; ≈ 0,27;

5)

X	0	1	2	3	4
P	0,0625	0,25	0,375	0,25	0,0625

Вариант № 3

1) $\frac{2}{3}$; 2) 0,32; 3) 0,061; 4) ≈ 0,04986;

5)

X	0	1	2	3	4
P	0,2401	0,4116	0,2646	0,0756	0,0081

Вариант № 4

1) 0,092; 0,398; 0,504; 2) 0,85; 3) 0,456; 4) $\approx 0{,}4938$;

5)

X	0	1	2	3	4	5
P	0,0024	0,0284	0,1323	0,3087	0,3601	0,1683

Вариант № 5

1) $\approx 0{,}9375 \cdot 10^{-6}$; 2) 0,729; 3) $\frac{3}{7}$; 4) 0,4; 0,4; 0,1; 0,7;

5) $M(X) = \frac{3}{4}$; $D(X) = \frac{29}{48}$.

Вариант № 6

1) 0,02525; 0,24725; 0,727; 2) 0,024; 3) 0,2; 4) $\approx 0{,}9768$;

5)

X	1	2	3	4	5
P	0,1	0,09	0,081	0,0729	0,6561

Вариант № 7

1) $\approx 0{,}00001$; 2) 0,08; 3) 0,00289; 4) $\frac{1}{32}$; $\frac{31}{32}$; $\frac{5}{16}$;

5)

X	0	1	10	25	50
P	0,35	0,5	0,1	0,04	0,01

Вариант № 8

1) $\frac{C_{90}^{3}C_{10}^{2}}{C_{100}^{5}}$; 2) $\frac{13}{84}$; 3) 0,763; 4) ≈ 0,159;

5)

X	0	1	2
P	$\frac{25}{36}$	$\frac{5}{18}$	$\frac{1}{36}$

Вариант № 9

1) ≈ 0,0125; 2) $\frac{1}{3}$; 3) 0,46; 4) $\frac{1}{360}$;

5)

X	0	1	2	3	4
P	0,0625	0,25	0,375	0,25	0,0625

Вариант № 10

1) 0,85; 2) 0,8236; 3) $\frac{1}{1785}$; 4) 0,84;

5)

X	0	1	2	3	4
P	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,0625

Вариант № 11

1) 0,116; 2) 0,0024; 3) $\approx 0{,}573$; 4) $\frac{1}{e}$; $1-\frac{1}{e}$;

5)

X	0	1	2
P	0,18	0,54	0,28

Вариант № 12

1) $\approx 0{,}47$; 2) $\approx 0{,}93$; 3) 0,24; 4) 6,4; 13,04; 3,61;

5) $\approx 0{,}196$.

Вариант № 13

1) 0,7; 2) $\frac{15}{16}$; 3) 0,4536; 4) $\frac{1}{e}$;

5)

X	0	10	40	50	100
P	0,98	0,01	0,005	0,004	0,001

Вариант № 14

1) 0,77; 2) $\frac{1}{10}$; $\frac{1}{5}$; $\frac{1}{6}$;; 3) 0,0425; 4) $\sigma = 2{,}2$;

5) $\approx 0{,}052$.

Вариант № 15

1) 0,068; 0,352; 0,576; 2) $\approx 0{,}0031$; 3) $\frac{1}{1296}$;

4) 5) $\approx 0{,}0021$.

X	0	1	2	3
p	$\frac{125}{216}$	$\frac{75}{216}$	$\frac{15}{216}$	$\frac{1}{216}$

Вариант № 16

1) 0,384; 2) 0,002; 3) $\frac{1}{120}$; 4) C^2; 5) 0,1056.

Вариант № 17

1) 0,4096; 2) $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$; 3) $\approx 0{,}302$; 4) $\approx 0{,}0091$;

5) $\frac{25}{1092}$; $\frac{25}{364}$.

Вариант № 18

1) $\approx 0{,}05$; 2) 0,0336; 3) 0,87; 4) 10; 5) $\frac{38}{119}$; $\frac{60}{119}$.

Вариант № 19

1) 0,04; 2) 0,124; 3) $M(X) = 3{,}9$; $D(X) = 1{,}89;$; 4) $\frac{5}{14}$;

5) $\frac{7}{19}$; $\frac{6}{19}$.

Вариант № 20

1) $\frac{2}{5}$; 2) 0,954; 3)

X	0	1	2
P	0,42	0,46	0,12

4) $\frac{8}{315}$; 5) 0,1764.

Вариант № 21

1) $\approx 0{,}7265$; 2) 0,936; 3) $\frac{17}{30}$; 4) $\frac{8}{315}$;

5)

X	0	1	5	20	25
P	0,64	0,2	0,1	0,05	0,01

Вариант № 22

1) $\frac{1}{288}$; 2) $\frac{741}{1470}$; $\frac{39}{98}$; 3) $\frac{15}{127}$; 4) 0,96;

5)

X	0	1	2	3
P	0,729	0,243	0,027	0,001

Вариант № 23

1) 0,973; 2) $\frac{20}{29}$; $\frac{85}{87}$; 3) $\frac{ABC \cdot 3!}{(A+B+C)(A+B+C-1)(A+B+C-2)}$;

4) $\frac{5}{32}$; 5) 0,72.

Вариант № 24

1) 3; 2) $\frac{27}{16\pi^2}$; 3) $\frac{23}{45}$; 4) $\approx 0{,}176$;

5)

X	0	3	6	9
P	0,064	0,288	0,432	0,216

Вариант № 25

1) $\frac{11}{93}$; 2) $\approx 0{,}251$; 3) $\frac{6}{7}$; 4) $\approx 0{,}003$;

5)

X	1	2	3	4
P	0,1	0,09	0,081	0,729

Вариант № 26

1) 0,78; 2) $\frac{1}{7}$; 3) 0,36; 4) 0,729; 0,081; 0,027; 5) 2,4; 1,44.

Вариант № 27

1) $\left(\frac{a}{a+b}\right)^2$; 2) 69; 229; 3) $\approx 0{,}033$; 4) $\frac{21}{59}$;

5)

X	0	1	2
P	0,16	0,48	0,36

Вариант № 28

1) $\approx 0{,}06$; 2) 0,903; 9,7 %; 3) 0, 6; 4) $\frac{3}{25}$; $\frac{23}{50}$; $\frac{29}{50}$; 5) 2,2.

Вариант № 29

1) 4; 2) 0,99; 3) 0,936; 0,288; 0,216; 0,064; 4) $\frac{13}{66}$; 5) 3,5; $\frac{35}{12}$.

Вариант № 30

1) $\approx 0{,}869$; 2) $\frac{3}{4}$; 3) $\frac{5}{33}$; 4) 0,241;

5)

X	0	1
P	0,7	0,3

Ответы к заданию № 6 из таблицы 1

Номер варианта	X_1	X_2	P_1	P_2	**Номер варианта**	X_1	X_2	P_1	P_2
1	3	4	0,2	0,8	16	1	5	0,9	0,1
2	3	4	0,1	0,9	17	1	3	0,3	0,7
3	3	4	0,3	0,7	18	3	6	0,9	0,1
4	3	4	0,5	0,5	19	2	3	0,3	0,7
5	3	4	0,7	0,3	20	1	3	0,4	0,6
6	3	4	0,9	0,1	21	4	5	0,9	0,1
7	2	4	0,9	0,1	22	3	6	0,7	0,3
8	3	4	0,8	0,2	23	4	6	0,1	0,9
9	3	4	0,6	0,4	24	1	3	0,2	0,8
10	3	4	0,4	0,6	25	1	2	0,1	0,9
11	4	6	0,3	0,7	26	1	4	0,3	0,7
12	3	5	0,1	0,9	27	2	4	0,5	0,5
13	2	5	0,3	0,7	28	2	3	0,4	0,6
14	3	6	0,5	0,5	29	2	5	0,6	0,4
15	2	5	0,7	0,8	30	2	6	0,6	0,4

Ответы к заданию № 7 из таблицы 2

Номер варианта	$M(X)$	$D(X)$	**Номер варианта**	$M(X)$	$D(X)$
1	$\pi-\frac{1}{2}$	$\frac{\pi-3}{4}$	2	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{18}$
3	$\frac{19}{12}$	$\frac{11}{144}$	4	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{80}$
5	$\frac{5}{27}$	$\frac{13}{1458}$	6	3	$\frac{1}{3}$
7	2	0,5	8	$\frac{4}{3}$	$\frac{2}{9}$
9	1	$\pi-3$	10	$\frac{\pi}{6}+\sqrt{3}-2$	$\frac{2}{3}\pi+4\sqrt{3}-9$
11	0	$\frac{4}{3}$	12	0	$\frac{\pi^2}{4}-2$
13	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi^2}{4}-2$	14	$\frac{10}{3}$	$\frac{25}{18}$
15	$-\frac{1}{3}$	$\frac{4}{27}$	16	$\frac{\pi-2}{4}$	$\frac{\pi+3}{4}$
17	1	$\pi-3$	18	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
19	4	2	20	$\frac{20}{3}$	$5\frac{5}{9}$
21	0	$\frac{1}{3}$	22	2	$\frac{1}{3}$
23	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{20}$	24	1,5	0,75

Окончание таблицы

Номер варианта	$M(X)$	$D(X)$	**Номер варианта**	$M(X)$	$D(X)$
25	2	$\frac{4}{3}$	26	2,5	2,08
27	$\frac{\pi}{2}-1$	$\pi-3$	28	$\frac{1}{3}$	$\frac{\pi}{3}+\frac{1}{9}$
29	$\pi-1$	$\pi-3$	30	$\frac{9}{4}$	$\frac{27}{80}$

Ответы к заданию № 8 из таблицы 3

Номер варианта	**а) ровно *k* раз**	**б) не менее *k* раз**	**в) не более *k* раз**	**г) хотя бы один раз**
1	0,1852	0,93	0,256	0,9993
2	0,28	0,42	0,86	0,79
3	0,01536	0,01696	0,9984	0,74
4	0,0081	0,00856	0,99954	0,4095
5	0,4116	0,6517	0,7599	0,9919
6	0,001215	0,00127	0,99994	0,4686
7	0,15625	0,1875	0,96875	0,96875
8	0,01536	0,998	0,27904	0,99993
9	0,4096	0,8192	0,5904	0,9984
10	0,384	0,896	0,488	0,992
11	0,0486	0,9963	0,0523	0,9999
12	0,1536	0,9728	0,1808	0,9984
13	0,1323	0,9692	0,1631	0,9976
14	0,3456	0,6826	0,6630	0,9898

Окончание таблицы

Номер варианта	**а) ровно *k* раз**	**б) не менее *k* раз**	**в) не более *k* раз**	**г) хотя бы один раз**
15	0,375	0,6875	0,6875	0,9375
16	0,1586	0,1792	0,9744	0,3704
17	0,3087	0,4718	0,8369	0,8319
18	0,2304	0,3174	0,9133	0,92222
19	0,2646	0,3483	0,9163	0,7599
20	0,0256	0,0272	0,9984	0,5904
21	0,0729	0,0815	0,99144	0,4095
22	0,2048	0,2627	0,9421	0,6723
23	0,0756	0,0837	0,9919	0,7599
24	0,288	0,352	0,936	0,784
25	0,3125	0,5	0,8125	0,9675
26	0,2765	0,8208	0,4557	0,9959
27	0,2646	09163	0,3483	0,9919
28	0,4096	0,7373	0,6723	0,9997
29	0,0984	0,9841	0,1143	0,9999
30	0,000054	0,000055	0,999999	0,4686

Ответы к заданию № 9 из таблицы 4

№ 1: 0,1359; № 2: 0,7506; № 3: 0,6294;
№ 4: 0,8412; № 5: 0,9104; № 6: 0,0493;
№ 7: 0,9998; № 8: 0,5746; № 9: 0,4998;
№ 10: 0,2638; № 11: 0,6247; № 12: 0,6247;
№ 13: 0,4706; № 14: 0,4706; №: 15: 0,4706
№ 16: 0,8399; № 17: 0,6826; № 18: 0,6826;
№ 19: 0,4706; № 20: 0,4706; № 21: 0,1865;
№ 22: 0,4082; № 2: 0,1359; № 24: 0,6826;
№ 25: 0,9758; № 26: 0,4967; № 27: 0,9758;
№ 28: 0,1525; № 29: 0,7357; № 30: 0,8854.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 456 с.

Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Задачи и упражнения по теории вероятностей: учебное пособие. – М.: Кнорус, 2010. – 492 с.

Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшее образование, 2009. – 403 с.

Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшее образование, 2009. – 480 с.

Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. – М.: Физматгиз, 1988. – 406 с.

Соболев А. Б., Рыбалко А. Ф., Вараксин А. Н. Математика: курс лекций для технических вузов. Книга 2. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 445 с.

Чудесенко В. Ф. Сборник заданий по специальным курсам высшей математики. – М.: Высшая школа, 1983. – 110 с.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

О. В. Садырева, И. Г. Коршунов

Ф И З И К А

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Екатеринбург

2019

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Учебно-методическим советом УГГУ

Председатель совета
_____Упоров С.А.

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Екатеринбург, 2019

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры физики 26 марта 2019 года (протокол № 19) и рекомендованы для издания в УГГУ

ФИЗИКА. Методические указания для самостоятельной работы студентов всех направлений подготовки/Садырева О.В., Коршунов И.Г.; Урал.гос. горный ун-т.– Екатеринбург, 2019.– 29 стр.

Методические указания составлены в соответствии с программами по курсу физики для студентов всех направлений подготовки в УГГУ. Они содержат условия задач для самостоятельной работы, при выполнении контрольных работ студентами по следующим темам курса физики: механика; молекулярная физика и термодинамика; электричество и магнетизм; механические и электромагнитные колебания и волны; волновая и квантовая оптика; квантовая физика и физика атома; элементы ядерной физики. Также в них содержатся методические указания к решению задач, их оформлению, список рекомендуемой литературы и справочные данные, необходимые для решения задач.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются преподавателем в начале соответствующего семестра.
2. Контрольные работы нужно выполнять чернилами в школьной тетради, на обложке указывается фамилия и инициалы студента, номер группы.
3. Условия задач в контрольной работе необходимо переписать полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради нужно оставлять поля.
4. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, при решении которых допущены ошибки.
5. При решении задач необходимо пользоваться следующей схемой:

- Внимательно прочитать условие задачи.
- Выписать столбиком все величины, входящие в условие, и выразить их в одних единицах (преимущественно в Международной системе единиц СИ).
- Если это возможно, представить условие задачи в виде четкого рисунка. Правильно сделанный рисунок – это наполовину решенная задача.
- Уяснить физическую сущность задачи, установить основные законы и формулы, на которых базируется условие задачи.
- Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физический закон или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести.
- Если равенства векторные, то их необходимо спроектировать но оси координат и записать в скалярной форме.
- Решить задачу сначала в общем виде, то есть, в буквенных обозначениях, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.
- После получения расчетной формулы для проверки ее правильности следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин их размерности, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.
- Подставить в конечную формулу числовые значения, выраженные в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

- При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3{,}52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1{,}29 \cdot 10^{-3}$ и т. п.
- Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими цифрами. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.
- Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями и комментариями.

1. МЕХАНИКА

1. Расстояние между двумя станциями метрополитена 1,5 км. Первую половину этого расстояния поезд проходит равноускоренно, вторую - равнозамедленно с тем же по модулю ускорением. Максимальная скорость поезда 50 км/ч. Найти ускорение и время движения поезда между станциями.

2. Шахтная клеть поднимается со скоростью 12 м/с. После выключения двигателя, двигаясь с отрицательным ускорением 1,2 м/с2 , останавливается у верхней приемной площадки. На каком расстоянии от нее находилась клеть в момент выключения двигателя и сколько времени двигалась до остановки?

3. С башни высотой 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью 10 м/с. Определить уравнение траектории тела, скорость тела в момент падения.

4. Для добывания руды открытым способом произвели взрыв породы. Подъем кусков породы, выброшенных вертикально вверх, длился 5 с. Определить их начальную скорость и высоту подъема.

5. При взрыве серии скважин камень, находящийся на уступе высотой 45 м, получил скорость 100 м/с в горизонтальном направлении. Какова дальность полета камня, сколько времени он будет падать, с какой скоростью упадет на землю?

6. Рассчитать скорость движения и полное ускорение шахтного электровоза в момент времени 5 с, если он движется по криволинейному участку радиусом 15 м. Закон движения электровоза выражается формулой $S = 800 + 8t - 0{,}5\,t^2$, м.

7. Во сколько раз тангенциальное ускорение точки, лежащей на ободе вращающегося колеса, больше ее нормального ускорения для того момента времени, когда вектор полного ускорения этой точки составляет угол 30° с вектором ее линейной скорости?

8. Под действием постоянной силы 118 Н вагонетка приобрела скорость 2 м/с, пройдя путь 10 м. Определить силу трения и коэффициент трения, если масса вагонетки 400 кг.

9. В шахте опускается равноускоренно лифт массой 280 кг, в первые 10 с он проходит 35 м. Найти натяжение каната, на котором висит лифт.

10. На горизонтальной платформе шахтной клети находится груз 60 кг. Определить силу давления груза на платформу: при равномерном подъеме и спуске, при подъеме и спуске с ускорением 3 м/^{2} , при спуске с ускорением 9,8 м/с^2.

11. Тело скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45° . Пройдя путь 36,4 см, тело приобретает скорость 2 м/с. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

12. Найти закон движения (зависимость пройденного расстояния от времени) куска антрацита при скольжении его с нулевой начальной скоростью по стальному желобу с углом наклона 30° . Коэффициент трения 0,3.

13. Рудничный поезд массой 450 т движется со скоростью 30 км/ч, развивая мощность 150 л. с. (1 л. с. =736 Вт). Определить коэффициент трения.

14. Определить силу тяги, которую развивает лебедка при подъеме вагонетки массой 2 т с ускорением 0,5 м/^{2}, если коэффициент трения 0,03, а угол наклона железнодорожного полотна 30°.

15. Вагонетка скатывается по наклонной горке длиной 5 м. Определить путь, проходимый вагонеткой по горизонтали до остановки, и наибольшую скорость движения, если коэффициент сопротивления 0,0095. Угол наклона 5°.

16. Маховик, приведенный в равноускоренное вращение, сделав 40 полных оборотов, стал вращаться с частотой 480 мин$^{-1}$.Определить угловое ускорение маховика и продолжительность равноускоренного вращения.

17. Ротор шахтного электродвигателя совершает 960 об/мин. После выключения он останавливается через 10с. Считая вращение равнозамедленным, найти угловое ускорение ротора. Сколько оборотов сделал ротор до остановки?

18. Крутящий момент двигателя электрической лебедки 1,2 кН·м. Для остановки двигателя служат тормозные деревянные колодки, прижимающиеся с двух сторон к тормозному чугунному диску радиусом 0,6 м, жестко связанному с ротором двигателя. Найти силу давления, необходимую для остановки ротора, если коэффициент трения равен 0,5.

19. Двигатель мощностью 3 кВт за 12 с разогнал маховик до 10 об/с. Найти момент инерции маховика.

20. Была произведена работа в 1 кДж, чтобы из состояния покоя привести маховик во вращение с частотой $8с^{-1}$.Какой момент импульса (количества движения) приобрел маховик?

21. Шар и цилиндр имеют одинаковую массу 5кг и катятся со скоростью 10 м/с по горизонтальной плоскости. Найти кинетическую энергию этих тел.

22. Какую работу надо произвести, чтобы раскрутить маховик массой 80 кг до 180об/мин? Массу маховика считать равномерно распределенной по ободу с диаметром 1м.

23. Ротор шахтного электродвигателя совершает 960 об/мин. После выключения он останавливается через 10с. Считая вращение равнозамедленным, найти угловое ускорение ротора. Сколько оборотов сделал ротор до остановки?

24. Шар и сплошной цилиндр катятся по горизонтальной плоскости. Какую часть энергия поступательного движения каждого тела составляет от общей кинетической энергии?

25. Маховик, выполненный в виде диска радиусом 0,4м и имеющий массу 100 кг, был раскручен до 480 оборотов в минуту и предоставлен самому себе. Под действием трения вала о подшипники маховик остановился через 80 с. Определить момент сил трения.

2.МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

26. Какой объем занимает 1 кг водорода при давлении 106 Па и температуре 20°С? Молярная масса водорода $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

27. Для автогенной сварки привезли баллон кислорода вместимостью 100 л. Найти массу кислорода, если его давление 12 МПа и темпера-тура 16°С. Молярная масса кислорода $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

28. Определить среднюю плотность сжатого воздуха в рудничной воздухопроводной сети, если давление воздуха в компрессоре составляет $7 \cdot 10^5$ Па, а давление у воздухоприемников $6 \cdot 10^5$ Па. Температура воздуха в начале и конце сети равна 27°С и 7°С. Молярная масса воздуха равна 0,029 кг/моль.

29. Стальной баллон емкостью 25 л наполнен ацетиленом $C_2 H_2$ при температуре 27° С до давления 20 МПа. Часть ацетилена использовали для автогенной сварки подкрановых путей в шахте. Какая масса ацетилена из-расходована, если давление в баллоне при температуре 23°С стало равным 14 МПа ? Молярная масса ацетилена 0,026 кг/моль.

30. Сжатый воздух в баллоне имеет температуру 15°С. Во время пожара температура воздуха в баллоне поднялась до 450° С. Взорвется ли баллон, если известно, что при этой температуре он может выдержать давление не более 9,8 МПа? Начальное давление в баллоне 4,8 МПа.

31. Температура взрыва гремучей смеси, то есть температура, до которой нагреты в первый момент газообразные продукты взрыва, достигает в среднем 2600° С, если взрыв происходит внутри замкнутого пространства. Во сколько раз давление при взрыве гремучего газа превосходит давление смеси до взрыва, если последнее равно 10^5 Па, а начальная температура 17° С?

32. Компрессор, обеспечивающий работу отбойных молотков в забое, засасывает из атмосферы 100 л воздуха в секунду при давлении 1 атм. Сколько отбойных молотков может работать от этого компрессора, если для каждого молотка необходимо 100 $см^3$ воздуха в секунду при давлении 50 атм ?

33. В двигателе Дизеля сжимается адиабатически воздух, в результате чего его температура поднимается, достигая температуры воспламенения нефти 800° С. До какого давления сжимается при этом воздух и во сколько раз уменьшается его объем, если начальное давление 1 атм, начальная температура 80°С, γ=1,4?

34. Современные вакуумные насосы позволяют понижать давление до 10^{-15} мм рт. ст. Сколько молекул газа содержится в объеме 1 $см^3$ при указанном давлении и температуре 27° С ?

35. Определить средние квадратичные скорости молекул метана CH_4 до взрыва и после него, если температура до взрыва равна 20° С, а после него 2600° С. Молярная масса 0,016 кг/моль.

36. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 350 К, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

37. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении окиси углерода CO, принимая этот газ за идеальный.

38. На сжатие азота при постоянном давлении была затрачена работа 12 кДж. Найти изменение внутренней энергии и затраченное количество теплоты.

39. Какое количество теплоты для нагревания от 50°C до 100° C надо сообщить азоту массой 28 г, который находится в цилиндре с подвижным поршнем? Чему равна при этом процессе работа расширения?

40. При адиабатическом процессе расширения внутренняя энергия кислорода уменьшилась на 8,38 кДж. Вычислить массу кислорода, если начальная температура его 47° C, а объем увеличился в 10 раз.

41. В двигателе внутреннего сгорания температура газообразных продуктов сгорания поднимается от 600° C до 2000° C. Найти количество теплоты, подведенное к 1 кг газа при постоянном давлении, изменение его внутренней энергии и совершенную работу, если удельные теплоемкости при постоянных давлении и объеме соответственно равны 1,25 кДж/(кг·К) и 0,96 кДж/(кг·К).

42. Определить мощность на валу компрессора производительностью 25 $м^3$ в минуту, работающего на подземную воздушную сеть, если первоначальное давление 1 атм, а давление, развиваемое компрессором в конце изотермического сжатия, составляет 7 атм.

43. Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно. Температура нагревателя 227° C. Определить термический коэффициент полезного действия цикла и температуру охладителя, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 350 Дж.

44. От идеальной теплосиловой установки, работающей по циклу Карно, отводится ежечасно 270 МДж теплоты с помощью холодильника при 9° C. Определить полезную мощность установки, если количество подводимой в час теплоты равно 900 МДж. При какой температуре подводится теплота?

45. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в три раза выше, чем температура холодильника. Нагреватель передал газу 42 кДж теплоты. Какую работу совершил газ?

46. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу, равную 200 Дж. Температура нагревателя 375 К, холодильника 300 К. Найти количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

47. Вследствие трения о шкив ремень заряжается, причем каждый квадратный метр ремня содержит 0,02Кл заряда. Ширина ремня 0,3м, скорость его движения 20 м/с. Какой заряд проходит ежесекундно через любую неподвижную плоскость, перпендикулярную ремню?

48. Определить заряд, емкость и потенциал Земли, считая ее шаром радиусом $6 \cdot 10^3$ км и зная, что напряженность поля около поверхности равна 100 В/м.

49. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 6 кВ, заряд каждой пластины 10 нКл. Найти энергию конденсатора и силу взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними 2 см.

50. Какое количество теплоты выделится при разрядке плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами 15 кВ, расстояние 1 мм, диэлектрик слюда ($\varepsilon = 6$), площадь каждой пластины 300 $см^2$?

51. Какую работу надо совершить , чтобы увеличить расстояние между пластинами воздушного конденсатора от 0,03 м до 0,1 м? Площадь пластин 100 $см^2$. Конденсатор подключен к источнику напряжения 220 В.

52. Камнедробилка должна работать под напряжением 100 В, потребляя ток в 40 А. Напряжение на электростанции 120 В, а расстояние до нее 1 км. Определить сечение медных соединительных проводов ($\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом м).

53. Какой длины надо взять нихромовый проводник диаметром 1,5 мм для изготовления спирали вулканизатора , применяемого при сращивании кабелей, если сопротивление спирали 5,5 Ом, а удельное сопротивление нихрома $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом м?

54. Цена деления прибора $1,5 \cdot 10^{-5}$ А /дел. Шкала прибора имеет 200 делений, его внутреннее сопротивление 100 Ом. Какие сопротивления нужно подключить к этому прибору и каким образом, чтобы можно было измерять напряжение до 200 В или ток до 4 А?

55. Определить сопротивление медных магистральных проводов при температуре 30^0 С. Расстояние от места расположения проводов до взрывной станции 400 м. Площадь сечения проводов 0,8 $мм^2$, $\rho = 0{,}017$(Ом· $мм^2$ /м), $\alpha = 0{,}0044$ град-1.

56. ЭДС батареи 12 В, ток короткого замыкания 5 А. Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

57. Найти ток короткого замыкания для аккумуляторной батареи, если при токе 5 А она дает во внешнюю цепь мощность 9,5 Вт, а при токе 8 А мощность 14,4 Вт.

58. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 30 с. Чему равно количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике?

59. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 50 А. Найти магнитную индукцию в точке, удаленной на расстояние 5 см от проводника.

60. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи 50 А и 100 А в противоположных направлениях. Расстояние между проводами 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на 25 см от первого и на 40 см от второго провода.

61. Найти число витков в катушке диаметром 10 см, если магнитная стрелка, помещенная в ее центре, отклонилась от плоскости магнитного меридиана на 38° при токе 0,2 А. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля 12,8 А /м . Плоскость катушки совпадает с плоскостью магнитного меридиана.

62. Определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли,
если обмотка тангенс–буссоли имеет 10 витков радиусом 25 см. При токе 0,64 А стрелка отклоняется на угол 45°.

63. Плоский контур площадью 20 см ² находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,03 Тл. Найти магнитный поток, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол 60° с линиями индукции.

64. Электромагнит изготовлен в виде тороида со средним диаметром 51 см и вакуумным зазором 2 мм. Обмотка тороида равномерно распределена по всей его длине. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в зазоре, если при неизменном токе в обмотке зазор увеличить в три раза? Магнитная проницаемость сердечника тороида 800.

65. Найти напряженность магнитного поля между полюсами электромагнита , если проводник массой 10 г и длиной 1м при токе в нем 19,6 А висит в поле , не падая.

66. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл движется проводник длиной 10 см со скоростью 15 м /с, направленной перпендикулярно к магнитному полю. Найти ЭДС, индуцированную в проводнике.

67. Обмотка электромагнита содержит 800 витков. Площадь сечения сердечника 15 $см^2$, Индукция магнитного поля в сердечнике 1,4 Тл. Вычислить величину средней ЭДС , возникающей в обмотке при размыкании тока, если ток уменьшается до нуля в течение 0,001с.

68. На железное кольцо намотано в один слой 200 витков провода. Чему равна энергия Магнитного поля, если при токе 2,5 А магнитный поток в железе 0,5 мВб?

69. Замкнутый соленоид намотан на немагнитный каркас и содержит 20 витков на каждый сантиметр длины. Найти объемную плотность энергии поля при токе 1 А.

70. С какой скоростью должен нарастать ток в катушке с числом витков 800, площадью поперечного сечения 10 $см^2$, длиной 30 см, чтобы величина ЭДС самоиндукции, возникшей в ней, была равна 25 мВ?

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

71. Маятник для гравиметрической съемки за сутки совершил 57600 колебаний. Найти ускорение свободного падения, если длина маятника
0,56м.

72. Днище вибролюка, применяемого для погрузки руды в бункер поезда из очистной камеры, совершает гармоническое колебательное движение с амплитудой 5 мм и частотой 1500 $мин^{-1}$. Написать уравнение колебаний, если начальная фаза равна нулю.

73. Стол питателя, предназначенного для погрузки руды в вагонетки, колеблется с частотой 45 $мин^{-1}$. Определить максимальные скорость и ускорение стола, полную энергию колебаний, если масса питателя 1000 кг, амплитуда колебаний 72 мм.

74. Решето рудообогатительного грохота совершает вертикальное колебательное движение с амплитудой 5 см. Найти наименьшую частоту колебаний, при которой куски руды, лежащие на решете, будут отделяться от него и подбрасываться вверх.

75. Для погружения обсадных труб в глинистые отложения применяется вибровозбудитель ВО-10, амплитуда колебаний которого 0,13 см, частота вращения дебалансов 1200 $мин^{-1.}$ Определить максимальные скорость и ускорение, написать уравнение колебаний, если начальная фаза равна нулю.

76. Определить полную энергию колебаний и максимальную силу взаимодействия между подъемным сосудом массой 90 тонн и армировкой ствола шахты, если амплитуда горизонтальных колебаний сосуда 3 см, а циклическая частота 7 $с^{-1}$.

77. Точка одновременно совершает два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями: $x = 0{,}5\sin t$, $y = 2\cos t$. Найти уравнение траектории точки, построить график ее движения.

78. Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудами 10 см и 6 см складываются в одно колебание с амплитудой 14 см. Определить разность фаз складываемых колебаний.

79. Груз, подвешенный к пружине, гармонически колеблется по вертикали с периодом 0,5 с. Коэффициент упругости пружины 4 Н/м. Определить массу груза.

80. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 5 мин уменьшилась в два раза. За какое время, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз?

81. Источник незатухающих гармонических колебаний подчиняется закону $x = 5\sin 3140t$ (м). Определить смещение, скорость и ускорение точки, находящейся на расстоянии 340м от источника, через 1 с от начала колебаний, если скорость волны 340 м/с.

82. Уравнение незатухающих колебаний $y = 0{,}1\sin 0{,}5\pi t$ (м). Скорость волны 300 м/с. Написать уравнение колебаний для точек волны в момент времени 4 с после начала колебаний. Найти разность фаз для источника и точки на расстоянии 200 м от него.

83. Звуковые колебания с частотой 500 Гц и амплитудой 0,25 мм, распространяются в воздухе. Длина волны 70 см. Определить скорость распространения волны и наибольшую скорость колебаний частиц воздуха.

84. Определить коэффициент сжатия горной породы - величину, обратную модулю Юнга, если скорость распространения звуковых волн в горной породе равна 4500 м/с, а плотность породы составляет $2{,}3\cdot 10^3$ кг/м^3.

85. К одному из концов длинного стержня прикреплен вибратор, колеблющийся по закону $y = 10^{-6}\sin 10^4\pi t$ (м). Найти скорость точек в сечении стержня, отстоящем от вибратора на расстоянии 25см, в момент времени 10^{-4} с. Скорость волны $5\cdot 10^3$ м/с.

86. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 2 мГн и конденсатора емкостью 888 пФ. На какую длину волны настроен контур?

87. Найти частоту собственных колебаний в контуре, состоящем из катушки индуктивности и плоского конденсатора. Площадь каждой пластины конденсатора 30 см^2 и расстояние между ними 0,1 см. Число витков катушки 1000, длина ее 30 см, сечение 1 см^2.

88. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 1,02 Гн и конденсатора емкостью 0,025 мкФ. Заряд на конденсаторе равен $2{,}5\cdot^{10\text{-}6}$ Кл. Какова зависимость разности потенциалов на конденсаторе от времени?

89. Катушка (без сердечника) длиной 50 см и площадью поперечного сечения 3 см^2 имеет 1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Он состоит из двух

пластин площадью 75 см^2 каждая, рас-стояние между пластинами 5 мм, диэлектрик - воздух. Найти период колебаний контура и длину волны, на которую он настроен.

90. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 1,02 Гн и конденсатора емкостью 25 нФ. На обкладках конденсатора сосредоточен заряд 2,5 мкКл. Написать уравнение изменения тока в цепи в зависимости от времени.

91. Разность потенциалов на конденсаторе в контуре за 1 мс уменьшается в три раза. Найти коэффициент затухания.

92. Электромагнитные волны распространяются в некоторой однородной среде со скоростью $2{,}5\cdot10^8$ м/с. Какую длину волны имеют электромагнитные колебания в данной среде, если частота колебаний 1 МГц?

93. Катушка с индуктивностью 30 мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин 0,01 м^2 и расстоянием между ними 0,1 мм. Найти диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур настроен на длину волны 750 м.

94. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 80 пФ и катушки индуктивностью 0,5 мГн. Найти максимальный ток в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 300 В. На какую длину волны резонирует данный контур?

95. Закон изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора в контуре задан уравнением $U = 50\cos10^4\pi t$(В). Емкость конденсатора равна 0,1 мкФ. Найти период колебаний, индуктивность, длину волны. Написать закон изменения тока в контуре.

96. Колебательный контур состоит из конденсатора переменной емкости от 12 пФ до 80пФ и катушки с индуктивностью 1,2 мГн. Найти диапазон длин электромагнитных волн, которые могут вызывать резонанс в этом контуре.

97. Индуктивность колебательного контура 0,5 мГн. Какова должна быть электроемкость контура, чтобы он резонировал на длину волны 300 м?

98. Катушка (без сердечника) длиной 50 см и площадью поперечного сечения 3 см^2 имеет 1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Он состоит из двух пластин площадью 75 см^2 каждая, расстояние между пластинами 5 мм, диэлектрик - воздух. Найти период колебаний контура и длину волны, на которую он настроен.

99. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости 2 мкФ получить частоту 1000 Гц?

100. Индуктивность катушки в колебательном контуре 20 мкГн. Требуется настроить этот контур на частоту 5 МГц. Какую емкость следует выбрать?

101. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с двумя пластинами по 100 $см^2$ каждая и катушки с индуктивностью 1 мкГн резонирует на волну длиной 10м. Найти расстояние между пластинами конденсатора.

5. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

102. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга I мм, расстояние от щелей до экрана 3м, расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране 1,5 мм. Найти длину волны источника монохроматического света.

103. Оранжевые лучи с длиной волны 650 нм от двух когерентных источников, расстояние между которыми 120 мкм, падают на экран. Расстояние от источников до экрана 3,6 м. Найти расстояние между центрами соседних темных полос на экране.

104. Какую наименьшую толщину должна иметь пластинка, сделанная из материала с показателем преломления 1,54, чтобы при освещении ее лучами с длиной волны 750 нм, перпендикулярными к пластинке, она в отраженном свете казалась красной?

105. Между двумя плоскопараллельными пластинками лежит проволочка, отчего образовался воздушный клин. Пластинки освещаются светом с длиной волны 500 нм. Угол падения лучей 0°, длина пластинки 10 см. Расстояние между интерференционными полосами в отраженном свете 1,8 мм. Найти толщину проволочки.

106. Плосковыпуклая линза (n=1,5) с оптической силой 0,5 диоптрий выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Найти радиус пятого темного кольца Ньютона в проходящем свете (λ =600 нм).

107. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы 4 м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус 5-го светлого кольца Нью-она в отраженном свете равен 3,6 мм?

108. На щель шириной 0,2 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 640 нм. Определить угол отклонения лучей, соответствующих первой светлой дифракционной полосе.

109. На пластинку со щелью падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному минимуму, равен 1°. Сколько длин волн падающего света составляет ширина щели?

110. На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет (λ=0,6 мкм). Найти угол между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

111. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия с длиной волны 670 нм спектра второго порядка?

112. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядка накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница (400 нм) спектра третьего порядка?

113. На дифракционную решетку, имеющую 800 штрихов на I мм, падает параллельный пучок белого света. Какова разность углов отклонения конца первого и начала второго спектров? Принять длину волны красного света 760 нм, фиолетового 400 нм.

114. На дифракционную решетку, содержащую 50 штрихов на миллиметр, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проектируется на экран с помощью линзы, помещенной вблизи решетки. Определить длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 3 м. Границы видимого спектра 400 нм и 760 нм.

115. Угол преломления луча света в жидкости равен 35°. Определить показатель преломления этой жидкости, если отраженный луч максимально поляризован.
116. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были бы наиболее полно поляризованы.

117. Предельный угол полного внутреннего отражения луча на границе жидкости с воздухом равен 43°. Каков должен быть угол падения луча из воздуха на поверхность жидкости, чтобы отраженный луч был максимально поляризован?

118. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли равен 57°. Определить скорость распространения света в этом кристалле.

119. Угол между плоскостями поляризации двух призм Николя равен 45°. Во сколько раз
уменьшится интенсивность света, прошедшего через николи, если этот угол увеличить до 60°?

120. Температура «голубой» звезды $3 \cdot 10^4$К. Определить интегральную интенсивность излучения и длину волны, соответствующую максимуму излучательной способности.

121. Приняв температуру поверхности Солнца равной 6000 К, определить энергию, излучаемую с одного квадратного метра за секунду и длину волны, соответствующую максимуму излучательной способности.

122. Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка печи за секунду, равен 34 Вт. Найти температуру печи, если площадь отверстия 6 $см^2$.

123. Средняя величина энергии, теряемой вследствие излучения с одного квадратного сантиметра поверхности Земли за минуту, равна 0,55 Дж. Какую температуру должно иметь абсолютно черное тело, излучающее такое же количество энергии?

124. Печь при температуре 1100 К посылает на измерительный прибор некоторое тепловое излучение. Какова должна быть температура печи, чтобы получаемое прибором излучение увеличилось в два, четыре и шестнадцать раз?

125. Максимальная лучеиспускательная способность абсолютность черного тела приходится на длину волны 800 нм. Какая мощность должна быть подведена к этому телу, поверхность которого 100 $см^2$, чтобы поддерживать его при постоянной температуре.

126. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела, максимум испускательной способности сместился с 500 нм на 750 нм. Во сколько раз уменьшилась суммарная мощность излучения?

127. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта равна 307 нм и кинетическая энергия фотоэлектрона I эВ?

128. Калий (работа выхода 2 эВ) освещается монохроматическим светом с длиной волны 509 нм. Определить максимально возможную кинетическую энергию фотоэлектронов.

129. Определить работу выхода электрона из цезия и серебра, если красная граница фотоэффекта у этих металлов составляет соответственно 660 нм и 260 нм.

130. Определить энергию, импульс и массу фотона, длина волны которого соответствует видимой части спектра с длиной волны 500 нм.

131. Определить давление света на стенки электрической стоваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом 5 см. Стенки лампы

отражают 10 % падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

132. На поверхность площадью 100 $см^2$ ежеминутно падает 63 Дж световой энергии. Найти величину светового давления, если поверхность полностью отражает все лучи и если полностью поглощает все лучи.

133. Давление света с длиной волны 600 нм на черную поверхность равно $2,2 \cdot 10^{-7}$ $Н/м^2$. Сколько фотонов падает на I $см^2$ за одну секунду?

6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА

134. Определить длину волны, соответствующую границе серии Бальмера для водорода. Выделить эту спектральную линию на схеме энергетических уровней атома водорода. Постоянная Ридберга равна $1,097 \cdot 107 м^{-1}$.

135. Найти наибольшую и наименьшую длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена). Начертить схему энергетических уровней атома водорода.

136. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны 121,5 нм. Определить радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода.

137. Вычислить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

138. Определить длины волн де Бройля для электрона и протона, движущихся со скоростью 1000 км/с. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$кг, масса протона $1,67 \cdot 10^{-27кг}$.

139. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была равна 0,10 нм ?

140. Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в основном состоянии.

141. Электрон, движущийся со скоростью $6 \cdot 10^6$м/с, попадает в продольное ускоряющее однородное электрическое поле напряженностью 5 В/см. Какое расстояние должен пройти электрон в таком поле, чтобы его длина волны стала равной 0,10 нм?

142. Рассчитать дебройлевскую длину волны для протона с кинетической энергией, равной энергии покоя электрона 0,51МэВ.

143. Найти коротковолновую границу непрерывного рентгеновского спектра, если известно, что уменьшение приложенного к рентгеновской трубке напряжения на 23 кВ увеличивает искомую длину волны в два раза.

144. Найти длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если скорость электронов, подлетающих к антикатоду трубки, составляет 0,85 скорости света.

145. Для определения постоянной Планка к рентгеновской трубке приложили напряжение 16 кВ и определили минимальную длину волны сплошного рентгеновского излучения (λмин =77,6 пм). Вычислить по этим данным постоянную Планка.

146. Частица в потенциальной яме шириной *l* находится в возбужденном состоянии (n=2).
Вычислить вероятность нахождения частицы в крайней четверти ямы.
46. Частица в потенциальной яме находится в основном состоянии. Какова вероятность обнаружить частицу в крайней трети ямы?
147. В одномерной потенциальной яме шириной *l* находится электрон. Найти вероятность нахождения электрона на первом энергетическом уровне в интервале *l*/4, равноудаленном от стенок ямы.

148. Вычислить величину момента импульса L орбитального движения электрона, находящегося в атоме водорода в s-состоянии и в p-состоянии.

149. Частица в потенциальной яме шириной *l* находится в низшем возбужденном состоянии. Определить вероятность нахождения частицы в интервале *l*/4, равноудаленном от стенок ямы.

150. Определить возможные значения проекции момента импульса L_Z орбитального движения электрона в атоме водорода на направление внешнего магнитного поля. Электрон находится в d-состоянии.

151. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной *l*
с бесконечно высокими стенками. Определить вероятность обнаружения электрона в средней трети ямы, если электрон находится в возбужденном состоянии (n=3).

7. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

152. Активность препарата пропорциональна числу ядер, распадающихся за секунду. Во сколько раз уменьшится активность препарата стронция $_{38}Sr^{90}$ через 100 лет? Период полураспада равен 28 лет.

153. Сколько β-частиц испускает в течение одного часа 1 мкг изотопа $_{11}Na^{24}$, период полураспада которого составляет 15 часов?

154. Препарат $_{92}U^{238}$ массой 1 г излучает $1{,}24 \cdot 10^4$ α -частиц в секунду. Найти период полураспада этого изотопа урана и активность препарата.

155. Найти число распадов за одну секунду в 1 г радия, период полураспада которого 1590 лет. Молярная масса радия 0,226 кг/моль.

156. Активность препарата пропорциональна числу ядер, распадающихся за одну секунду. Во сколько раз уменьшится активность иода $_{53}J^{124}$ спустя 12 суток? Период полураспада равен четырем суткам.

157. Сколько β-частиц испускается в течение суток при распаде изотопа фосфора $_{15}P^{32}$ массой 1 мкг? Период полураспада 14,3 суток.
158. Активность препарата уменьшилась в 256 раз. Сколько периодов полураспада составляет промежуток времени, за который произошло такое уменьшение активности?

159. За один год начальное количество радиоактивного вещества уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
60. Какая доля начального количества радиоактивного вещества останется нераспавшейся через промежуток времени, равный двум периодам полураспада?

160. Дефект массы ядра $_7N^{15}$ равен 0,12396 а.е.м. Определить массу атома. ($m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.).

161. Найти удельную энергию связи ядра $_6C^{12}$, если известно, что $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n1 = 1{,}00867$ а.е.м.; $m\ _{12}C^6 = 12{,}00000$ а.е.м.

162. Рассчитать массу нейтрального атома, если ядро его состоит из трех протонов и двух нейтронов, а энергия связи ядра равна 26,3 Мэв. ($m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.).

163. Определить энергию связи ядра изотопа кислорода $_8O^{16}$, если $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.;
$m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.; $m\ _8O^{16} = 1\ 5{,}99491$ а.е.м.

164. Определить энергию связи, приходящуюся на один нуклон ядра атома $_{11}Na^{23}$, если $m\ _{11}Na^{23} = 22{,}98977$а.е.м.; $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.

165. Найти дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $_3Li^7$, если известно, что $m\ _3Li^7 = 7{,}01601$ а.е.м.; $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.

166. Энергия связи электрона с ядром невозбужденного атома водорода $_1H^1$ равна 13,6 эВ. Определить, насколько масса атома водорода меньше суммы масс свободных протона и электрона.

167. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра $_5B^{11}$,если известны следующие массы: m $_5B^{11}$ = 11,00931 а.е.м.; m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.

168. Найти энергию, которую нужно затратить для отрыва нейтрона от ядра $_{11}Na^{23}$, если известны следующие массы: m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.; m $_{11}Na^{23}$ = 22,98977 а.е.м.; m $_{11}Na^{22}$ = 21,99444 а.е.м.

169. Найти энергию отрыва нейтрона от ядра $_2He^4$,если известны массы: m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_2He^3$ = 3,01603 а.е.м.

170. Найти энергию, необходимую для удаления одного протона из ядра $_8O^{16}$ ($_8O^{16} \rightarrow {}_7N^{15} + {}_1H^1$). m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; m $_8O^{16}$ = 15,99491 а.е.м.; m $_7N^{15}$ = 15,00011 а.е.м.

171. Найти изменение массы при следующей ядерной реакции:
$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$, если m $_{13}Al^{27}$ =2 6,98154 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_{15}P^{30}$= 29,97263 а.е.м.; m $_0n^1$= 1,00867 а.е.м.

172.Вычислить энергетический эффект ядерной реакции: $1H^2 + {}_1H3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$, если m $_1H^2$ = 2,01410 а.е.м.; m $_1H^3$ =3,01605 а.е.м.; m $_0n^1$ =1,00867 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.

173. В термоядерном реакторе с дейтериевым горючим может происходить вторичная термоядерная реакция $_2He^3 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1H^1$. Вычислить энергию этой реакции. (m $_2He^3$ = 3,01603 а.е.м.; m $_1H^2$ = 2,01410 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.).

174. Вычислить энергию ядерной реакции $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$. (m $_7N^1$ ^{4}= 14,00307а.е.м.; m $_0n^1$ =1,00867 а.е.м ; m $_6C^{14}$= 14,00324 а.е.м.; m $_1H^1$= 1,00783 а.е.м.).

175. Определить энергию ядерной реакции $_3Li6 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$. (m $_3Li^6$ = 6,01513 а.е.м.; m $_1H^2$= 2,01410 а.е.м.; m $_2He^4$ =4 ,00260 а.е.м.).

176. Какую минимальную энергию должен иметь квант для вырывания нейтрона из ядра $_6C^{14}$? Известны массы: m $_6C^{14}$ = 14,00324 а.е.м.; m $_0n^1$= 1,00867 а.е.м.; m $_6C^{13}6$ = 13,00335а.е.м.

177. Какую минимальную энергию необходимо затратить, чтобы разделить $_6C^{12}$ на три равные части.(m $_6C^{12}$= 12,00000 а.е.м.; m $_2He^4$= 4,00260 а.е.м.).

178. Определить энергию ядерной реакции $_{20}Ca^{14} + {}_1H^1 \rightarrow {}_{19}K^{41} + 2He^4$. ($m\ {}_{20}Ca^{4\,4}$= 43,95549 а.е.м.; $m\ {}_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; $m\ {}_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; $m\ {}_{19}K^{41}$= 40,96184 а.е.м.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

8.1 Основная литература

.

1.	И.Г. Коршунов. Физика. – Екатеринбург: Ид-во УГГУ, 2014. – 341 с.
2.	В.И. Горбатов, В.Ф. Полев. Физика. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ (Ч.1, 2012.-105 с.; Ч.2, 2013.-115 с.; Ч.3.- 2014.-147 с.)
3.	Михайлов В.К. Физика: учебное пособие/ Михайлов В.К.— Электрон. текстовые данные.- М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.-120 с.-Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/23753.html - ЭБС «IPRbooks».
4.	Михайлов В.К. Волны. Оптика. Атомная физика. Молекулярная физика: учебное пособие/ Михайлов В.К., Панфилова М.И.-Электрон. текстовые данные.-М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2016.-144 с.-Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62614.html -ЭБС «IPRbooks».
5.	Трофимова Т.М. Курс физики. Академия, 2010.- 560 с.

Дополнительная литература

1. И..Г. Коршунов. Основы физики.- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. - 312 с.
2. Ветрова В.Т. Физика. Сборник задач: учебное пособие/ Ветрова В.Т.- Электрон. текстовые данные.- Минск: Вышэйшая школа, 2015.-446 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/48021.html -ЭБС «IPRbooks».
3. Чакак А.А. Физика. Краткий курс: учебное пособие для студентов очно-заочной формы обучения вузов, слушателей курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов, для студентов факультета дистанционных образовательных технологий/ Чакак А.А., Летута С.Н. Электрон. текстовые данные. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2011.-541 с. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/30092.html - ЭБС «IPRbooks».
4. Сарина М.П. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Часть 1. Механика: учебное пособие/ Сарина М.П.- Электрон. текстовые данные.- Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.- 187 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45392.html - ЭБС «IPRbooks».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Некоторые физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Скорость света в вакууме	c	$3.00 \cdot 10^{8}$ м/с
Гравитационная постоянная	G	$6.67 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Число Авогадро	N_A	$6.02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	8.31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Атомная единица массы	*1а.е.м.*	$1.660 \cdot 10^{-27}$ кг
Элементарный заряд	e	$1.60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	$8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Планка	h $\hbar$	$6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж/с $1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж/с

Приложение 2

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Множитель	Приставка			Множитель
Наименование	Обозначение			Наименование	Обозначение		
	русское	международное			русское	международное	
экса	Э	E	10^{18}	деци	д	d	10^{-1}
пэта	П	P	10^{15}	санти	с	c	10^{-2}
тера	Т	T	10^{12}	милли	м	m	10^{-3}
гига	Г	G	10^{9}	микро	мк	μ	10^{-6}
мега	М	M	10^{6}	нано	н	n	10^{-9}
кило	к	k	10^{3}	пико	п	p	10^{-12}
Гекто	г	h	10^{2}	фемто	ф	f	10^{-15}
Дека	да	da	10^{1}	атто	а	a	10^{-18}
П р и м е ч а н и е: Приставки гекто, дека, деци и санти допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (гектар, декалитр, дециметр, сантиметр и др.)							

Приложение 3

Единицы физических величин, имеющие собственные наименования

Величина	Единица	
	Наименование	Обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Сила, вес	ньютон	Н
Давление	паскаль	Па
Напряжение (механическое)	паскаль	Па
Модуль упругости	паскаль	Па
Работа, энергия	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Частота колебаний	герц	Гц
Термодинамическая температура	кельвин	К
Разность температур	кельвин	К
Теплота, количество теплоты	джоуль	Дж
Количество вещества	моль	моль
Электрический заряд	кулон	Кл
Сила тока	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение	вольт	В
Электрическая емкость	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Электрическая проводимость	сименс	См
Магнитная индукция	тесла	Тл
Магнитный поток	вебер	Вб
Индуктивность	генри	Гн
Сила света	кандела	кд
Световой поток	люмен	лм
Освещенность	люкс	лк
Поток излучения	ватт	Вт
Поглощенная доза излучения (доза излучения)	грэй	Гр
Активность изотопа	беккерель	Бк

Приложение 4

Внесистемные единицы

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна атомная единица массы	т а.е.м.	10^3 кг $1.66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	минута час сутки	мин ч сут	60 с 3600 с 86400 с
Плоский угол	градус минута секунда град	…• …′ …″ град	$1.74 \cdot 10^{-2}$ рад $2.91 \cdot 10^{-4}$ рад $4.85 \cdot 10^{-6}$ рад $(\pi/200)$ рад
Объем, вместимость	литр	Л	10^{-3} м^3
Длина	астрономическая единица световой год парсек	а.е. св. год пк	$1.50 \cdot 10^{11}$ м $9.46 \cdot 10^{15}$ м $3.08 \cdot 10^{16}$ м
Оптическая сила	диоптрия	Дптр	1 м$^{-1}$
Площадь	гектар	Га	10^4 м^2
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1.60 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	
П р и м е ч а н и е: Единицы времени (минуту, час, сутки), плоского угла (градус, минуту, секунду), астрономическую единицу, световой год, диоптрию и атомную единицу массы не допускается применять с приставками.			

Приложение 5

Плотность некоторых твердых тел

Твердое тело	Плотность, г/см^3	Твердое тело	Плотность, г/см^3
Алюминий	2.70	Цезий	1.90
Барий	3.50	Каменная соль	2,2
Ванадий	6.02	Латунь	8,55
Висмут	9.80	Марганец	7,40
Железо (чугун, сталь)	7.88	Платина	21,4
Литий	0.53	Золото	19,3
Медь	8.93	Висмут	9,8◌
Никель	8.90	Уран	18,7
Свинец	11.3	Цинк	7.15
Серебро	10.5	Вольфрам	19,3

Приложение 6

Плотность некоторых жидкостей и газов

Жидкость (при 15° С)	Плотность, г·/см^3	Газ (при нормальных условиях	Плотность, кг/м^3
Вода (дистиллированная при 4°С)	1.00	Водород	0.09
Глицерин	1.26	Воздух	1.29
Керосин	0.8	Гелий	0.18
Ртуть	13.6	Аргон	1,78
Масло (оливковое, смазочное)	0.9	Азот	1,25
Масло касторовое	0.96	Кислород	1.43
Сероуглерод	1.26		
Эфир	0.7		
Спирт	0.80		

Приложение 7

Удельное сопротивление ρ некоторых материалов

Материал	Удельное сопротивление, Ом·м	Материал	Удельное сопротивление, Ом·м
Алюминий	$2{,}53\cdot10^{-8}$	Ртуть	$9{,}6\cdot10^{-7}$
Алюминий провод	$2{,}87\cdot10^{-8}$	Свинец	$2{,}08\cdot10^{-7}$
Бумага	10^{15}	Серебро	$1{,}6\cdot10^{-8}$
Вода дистиллированная	10^{4}	Сталь литая	$1{,}3\cdot10^{-7}$
Вода морская	0,3	Сталь чистая	$1{,}01\cdot10^{-7}$
Вольфрам	$5{,}5\cdot10^{-8}$	Стекло	10^{11}
Графит	$3{,}9\cdot10^{-6}$	Стекло кварцевое	10^{16}
Железо чистое	$9{,}8\cdot10^{-8}$	Угольные щётки	$4\cdot10^{-5}$
Железо	$8{,}7\cdot10^{-8}$	Цинк	$5{,}9\cdot10^{-8}$
Золото	$2{,}2\cdot10^{-8}$	Чугун серый	$1\cdot10^{-6}$
Константан	$5\cdot10^{-7}$	Никель	$8{,}7\cdot10^{-8}$
Масло парафиновое	10^{14}	Нихром	$1{,}12\cdot10^{-6}$
Магний	$4{,}4\cdot10^{-8}$	Олово	$1{,}2\cdot10^{-7}$
Манганин	$4{,}3\cdot10^{-7}$	Платина	$1{,}07\cdot10^{-7}$
Медь	$1{,}72\cdot10^{-8}$	Медь провод	$1{,}78\cdot10^{-8}$

Приложение 8

Диэлектрическая проницаемость некоторых веществ

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Ацетон	21,4	Парафин	2,0
Вакуум	1,0	Парафинированная бумага	2,0
Воздух	1,000594	Полиэтилен	2,2
Вода	81	Слюда	7,0
Вода дистиллированная	31	Спирт этиловый	25,1
Воск	7,8	Спирт метиловый	33,5
Керосин	2,0	Стекло	7,0
Масло	5,0	Фарфор	5,0
Масло трансформаторное	2,2	Эбонит	2,6

Приложение 9

Греческий алфавит

Обозначения букв	Название букв	Обозначения букв	Название букв
A, α	Альфа	N, ν	ню
B, β	Бета	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	Гамма	O, o	омикрон
Δ, δ	Дэльта	Π, π	пи
E, ε	Эпсилон	P, ρ	ро
Z, ς	Дзета	Σ, σ	сигма
H, η	Эта	T, τ	тау
Θ, θ	Тэта	Y, υ	ипсилон
J, i	Иота	Φ, φ	фи
K, κ	Каппа	X, χ	хи
Λ, λ	Ламбда	Ψ, ψ	пси
M, μ	Ми	Ω, ω	омега

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания к решению задач и выполнению домашних контрольных работ	3
1. Механика	4
2. Молекулярная физика и термодинамика	7
3. Электричество и магнетизм	10
4. Механические и электромагнитные колебания и волны	12
5. Волновая и квантовая оптика	15
6. Квантовая физика и физика атома	18
7. Элементы ядерной физики	19
Список литературы	23
Приложения	24

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»



Е. И. Шангина

КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

Екатеринбург – 2006

УДК 514.18
Ш 20
Шангина Е. И.
Ш 20 Компьютерная графика: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – 189 с.: ил.
ISBN 5-8019-0098-5

В пособии рассматривается графический интерфейс системы AutoCAD, описываются средства создания двух- и трёхмерных объектов. Приводятся методики и рассматриваются конкретные примеры создания чертежей, позволяющие студентам, начинающим изучение компьютерной графики, легко адаптироваться к среде системы AutoCAD. Пособие содержит описание базовых команд, необходимых для создания твёрдотельных моделей и выполнения чертежей в ортогональных и аксонометрических проекциях.

Отличие этого пособия от существующих в том, что даются основные понятия теории множеств и размерности для корректного задания на чертеже (экране компьютера) различных геометрических многообразий (точка, прямая, плоскость, кривые линии и т. д.).

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 170100-«Горные машины и оборудование», а также может быть использовано студентами технических специальностей всех форм обучения, изучающих курс «Компьютерная графика».

Рецензенты:

В. Н. Бабич – канд. техн. наук, профессор кафедры «Теория искусства, архитектуры и дизайна» Уральской государственной архитектурно-художественной академии.

Д. В. Куреннов– канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Прикладная геометрия и автоматизация проектирования» Уральского государственного технического университета (УПИ).

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

© Уральский государственный
горный университет, 2006
© Шангина Е. И., 2006

ISBN 5-8019-0098-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Количество прикладных программных систем, функционирующих на персональных компьютерах и решающих различные задачи в различных отраслях промышленности, на сегодняшний день достаточно велико. Направленность и решаемые ими задачи различны. Одна из наиболее важных составляющих использования компьютерной графики – знание законов построения геометрической модели проектируемого объекта, теоретической основой которых является начертательная геометрия.

Известно, что современная начертательная геометрия занимается теорией методов моделирования пространств и многообразий различной размерности (возможно с дополнительной структурой) точками плоскости (экран компьютера тоже плоское поле). Другими словами, начертательная геометрия занимается изучением взаимно однозначных и взаимно непрерывных отображений. При построении какого-либо многообразия, независимо от геометрического определителя, размерность этого многообразия не изменяется. Таким образом, одним из инвариантов является размерность.

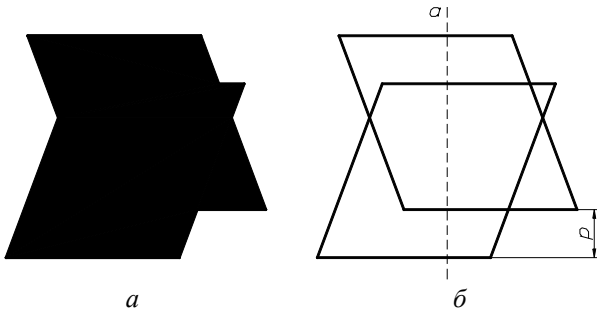
Приведём пример построения окружности в системе ***AutoCAD***. Известно, что окружность задаётся тремя параметрами. Поэтому, вызывая команду ***CIRCLE*** (КРУГ) – формирование окружности – построение может производиться путём задания: 1) центра и радиуса или 2) трёх точек (3P), или 3) двух точек, которые определяют диаметр (2P); 4) двух касательных и радиуса (Ttr); 5) трёх касательных (Tan Tan Ta). В некоторых случаях окружность удобнее задавать одним из перечисленных способов, но число параметров, определяющих данную окружность, остаётся неизменным, то есть равным трём. Таким образом, применяя теорию размерности, можно находить различные решения при построении новых моделей в среде компьютерных программ.

Кроме этого, в современных программах для создания графических объектов нередко используются команды меню «Редактор» («Зеркало», «Поворот», «Сдвиг»», «Копия» и др.), которые позволяют ускорять и упрощать процесс создания чертежа, при этом возрастает точность геометрических построений.

Теоретической основой построения чертежей с использованием этих команд является симметрия. С точки зрения теории симметрии команда «Зеркало» представляет собой осевую симметрию; команда «Поворот» - поворотную симметрию; «Сдвиг» - параллельный перенос; «Копия» - движение, сохраняющее тождественное преобразование. Однако чаще всего студенты не владеют теорией симметрии и поэтому строят чертёж привычными методами, при которых используются традиционные чертёжные инструменты.

Примером может служить метод построения геометрической фигуры, показанной на рис.1.

Построение геометрической фигуры (рис. 1, а), как ни странно, осуществляется последовательным заданием семейства точек или ломаной линии. Однако такая методика является неверной, так как снижается точность изображения и усложняются построения. Указанные недостатки могут быть устранены весьма простым способом – построением скользящей симметрии параллелограмма (рис.1, б), представляющей композицию (произведение) осевой симметрии с осью *a* и параллельного переноса *p*.



а *б*

Рис. 1.

Итак, построение геометрических фигур на основе их инвариантных характеристик – это основной принцип, который позволяет значительно упростить освоение компьютерной графики.

Использование графических компьютерных программ, безусловно, позволило поднять на новый уровень графические методы решения различных технических задач, за счёт резкого повышения точности построений. Но при этом не следует забывать о теории формирования геометрических моделей, в основе которой лежат классические методы начертательной геометрии.

Глава 1
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МНОЖЕСТВА И СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

1. МНОЖЕСТВА

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ

Понятие множества является одним из основных неопределяемых понятий математики. Вводя понятие «***множество***», обычно поясняют его смысл на примерах: библиотека – множество книг; алфавит – множество букв; лес – множество деревьев и т. д. В геометрии прямую, плоскость, пространство, прежде всего, понимают как множество точек.

Объекты, из которых состоит множество, называются его элементами. Множества имеют определённые характеристические свойства. Например, если имеем множество целых чисел, то буква не является элементом этого множества. Множество, элементы которого можно подсчитать, называется конечным множеством, в противном случае – бесконечным. Например, множество страниц книги конечно, так как его можно подсчитать; время – бесконечное множество. Если все элементы множества M являются частью множества N, то M называется подмножеством N. Например, прямая, лежащая в плоскости, является подмножеством множества точек плоскости. Другой пример: студенты одной группы являются подмножеством студентов всего института.

Рассмотрим основные теоретико-множественные понятия: 1) принадлежность ($\in$); 2) включение ($\subset$); 3) пересечение ($\bigcap$); 4) объединение ($\bigcup$); 5) разность (\ ); 6) пустое множество ($\varnothing$):

1. Если m есть элемент множества M, записывают $m \in M$; если m не принадлежит M, то пишут $m \notin M$. Множество, которое не содержит ни одного элемента, называется пустым множеством и обозначается $\varnothing$. Точка является нульмерным множеством (это аксиома и определению не подлежит).
2. Если любой элемент множества M принадлежит множеству N, то M называют ***подмножеством*** множества N. Символическая запись: $M \subset N$ («множество M содержится в N»). При этом N называют надмножеством (объемлющим множеством) множества M.
3. Множество, состоящее из общих элементов нескольких множеств A, B, C, …, называется пересечением этих множеств и обозначается $A \bigcap B \bigcap C, \ldots$.
4. Объединение (или сумма) множеств M и N $(M \cup N)$ – это множество, элементами которого являются все элементы множества M и множества N.
5. Разностью множеств M и N называется множество, состоящее из элементов, принадлежащих M, но не принадлежащих N $(M \setminus N)$. Если $N \subset M$, то разность $M \setminus N$ называют дополнением множества N в множестве M и обозначают $\overline{N}$; при этом $N \cup \overline{N} = M$.

Рассмотрим три множества точек, координаты которых удовлетворяют следующим уравнению и неравенствам (рис. 1):

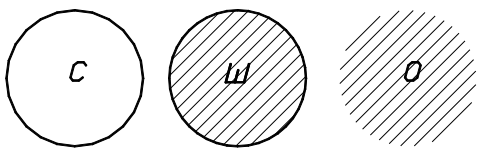


Рис. 1.

Сфера: $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ – **С**.
Шар: $x^2 + y^2 + z^2 \le 1$ – **Ш**.
Открытый шар: $x^2 + y^2 + z^2 < 1$ – **О**.

В этом случае справедливы следующие теоретико-множественные тождества:
$\mathbf{C} \bigcap \mathbf{Ш} = \mathbf{C}$, $\mathbf{Ш} \bigcap \mathbf{О} = \mathbf{О}$, $\mathbf{C} \bigcap \mathbf{О} = \varnothing$;
$\mathbf{C} \bigcup \mathbf{Ш} = \mathbf{C} \bigcup \mathbf{О} = \mathbf{Ш} \bigcup \mathbf{О} = \mathbf{Ш}$;

Ш\С=О, **Ш\О=С**, **О\С=О**, **С\О=С**;
С\Ш=О\Ш=∅; **С=О**, **О=С**, **Ш=∅**.

При определении пересечения трех и большего числа множеств пользуются следующими свойствами пересечения:

$M \cap N = N \cap M$ – коммутативность (то есть переместительный закон, выражающий независимость получаемого множества при пересечении множеств M и N от их перестановки);

$(L \cap M) \cap N = L \cap (M \cap N)$ – ассоциативность (то есть сочетательный закон, выражающий независимость получаемого множества от замены некоторых множеств их пересечением);

$M \cap M = M$ – идемпотентность (то есть результатом пересечения множества M самого с собой является множество M).

Операции пересечения, объединения, разности позволяют исходя из данных множеств строить новые множества. Другим же распространенным приемом конструирования множеств является то, что некоторые подмножества данного множества объявляются элементами нового множества. Рассмотрим несколько примеров.

ПРИМЕР 1. Множество прямых на плоскости называют плоским полем прямых. Элементами этого множества являются все прямые данной плоскости. ***Пучок прямых*** – множество прямых, проходящих по плоскости через данную точку (если эта точка несобственная (бесконечно удаленная), имеем пучок параллельных прямых).

ПРИМЕР 2. Множество прямых пространства называют линейчатым пространством. Примерами подмножеств линейчатого пространства могут служить следующие множества. ***Связка прямых*** – множество прямых пространства, проходящих через заданную точку (если эта точка несобственная, имеем связку параллельных прямых). ***Специальный линейчатый комплекс*** - семейство прямых, пересекающих данную прямую. ***Гиперболическая линейная конгруэнция*** – множество прямых, пересекающих две скрещивающиеся прямые (называемые ее осями или директрисами). Множество прямых, пересекающих три скрещивающиеся прямые, называется ***регулюсом***, или ***линейчатой поверхностью***.

ПРИМЕР 3. ***Пучок плоскостей*** – множество плоскостей, проходящих через заданную прямую (если прямая несобственная, имеют пучок параллельных плоскостей). ***Связка плоскостей*** – множество плоскостей, проходящих через заданную точку.

ОТНОШЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Пусть между элементами множества M определено некоторое отношение ~, то есть для любых двух элементов $a \in M$ и $b \in M$ известно $a \sim b$ (читается «a эквивалентно b»). Это отношение должно удовлетворять следующим требованиям:

1) $a \sim a$ - рефлексивность;

2) если $a \sim b$, то $b \sim a$ - симметричность;

3) если $a \sim b$ и $b \sim c$, то $a \sim c$ - транзитивность.

Знак ~ называется ***отношением эквивалентности***.

ПРИМЕР 1. В линейчатом пространстве параллельность прямых ***a, b, c,…*** является отношением эквивалентности, так как 1) $a \| a$, 2) если $a \| b$, то $b \| a$, 3) если $a \| b$ и $b \| c$, то $a \| c$.

ПРИМЕР 2. Отношение перпендикулярности на множестве прямых плоскости симметрично ($a \perp b$ и $b \perp a$), но не рефлексивно и не транзитивно и поэтому отношением эквивалентности не является.

В связи с заданием на множестве M отношения эквивалентности оно разбивается на непересекающиеся подмножества, называемые ***классами эквивалентности***: в один класс входят эквивалентные между собой элементы. Пересечение любых двух классов пусто, а объединение всех классов эквивалентности есть M (M – это «слоеный пирог», а классы – это слои). Множество, элементами которого являются классы эквивалентности (слои), называет-

ся ***фактор-множеством*** множества ***M*** по отношению к эквивалентности ~. Фактор-множество в примере 1 – это множество связок параллельных прямых.

Два множества называются ***эквивалентными***, если между их элементами можно установить взаимно однозначное соответствие. Под взаимно однозначным соответствием будем понимать такое соответствие, при котором любому элементу одного множества ставится в соответствие единственный элемент другого множества, и, наоборот, любым различным (не совпадающим) элементам одного множества соответствуют различные элементы другого множества, задействованы все элементы обоих множеств.

Об эквивалентных множествах говорят, что они имеют одинаковую мощность. Эквивалентные конечные множества состоят из одного и того же числа элементов. Если бы это было не так, то при установлении взаимно однозначного соответствия каким-то элементам не было бы соответствующих. В случае конечных множеств понятие мощности совпадает с понятием числа элементов.

1.2. ОТОБРАЖЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Одним из фундаментальных понятий современной математики является понятие ***функции***. Как известно, переменная ***y*** называется функцией переменной ***x***, если каждому значению ***x***, взятому из области её определения, отвечает одно или несколько значений ***y***. Это записывают так: $y = f(x)$. Большое значение имеют однозначные функции, когда каждому значению ***x*** соответствует единственное значение ***y*** (и наоборот).

Геометрическим аналогом понятия однозначной функции является ***отображение***. Тогда под ***x*** и ***y*** понимают какие-либо геометрические образы: точки, прямые, плоскости, окружности…. Для конкретности в дальнейшем под ***x*** и ***y*** будем понимать точки.

Если даны два множества $X(x_1, x_2, x_3\ldots, x_i, x_n)$, $Y(y_1, y_2, y_3\ldots, y_i, y_n)$ и указано правило, по которому каждому элементу x_i множества ***X*** ставится в соответствие определённый элемент y_i множества ***Y***, то говорят, что задано отображение ***f*** множества ***X*** в множество ***Y***, и пишут: $f : X \to Y$ (рис. 2). При этом элемент y_i называется образом элемента x_i, а x_i – прообразом элемента y_i. Символическая запись $y = f(x)$ читается: «в отображении ***f*** элементу ***x*** соответствует элемент ***y***» или «отображение ***f*** переводит ***x*** в ***y***».

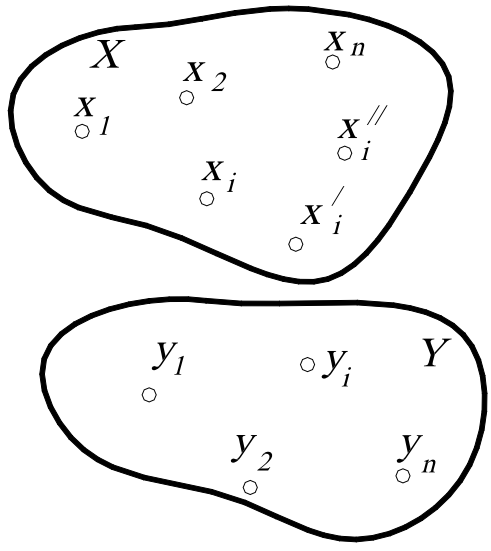


Рис. 2.

Множество ***X*** называют ***областью определения (областью отправления)***, а ***Y*** - ***областью значений (областью прибытия)*** отображения ***f***.

Пусть область определения ***X*** состоит из множества точек $x_1, x_2, x_3\ldots, x_i, x_n$, а область значений ***Y*** – из множества точек $y_1, y_2, y_3\ldots, y_i, y_n$ (см. рис. 2). Следовательно, при отображении любой точке x_i в области ***X*** соответствует единственный образ y_i в области ***Y***, но точка y_i может иметь несколько прообразов $x_i, x_i^{/}, x_i^{//} \ldots$. Следовательно, обратное соответствие $x = f^{-1}(y)$ является в этом случае неоднозначным.

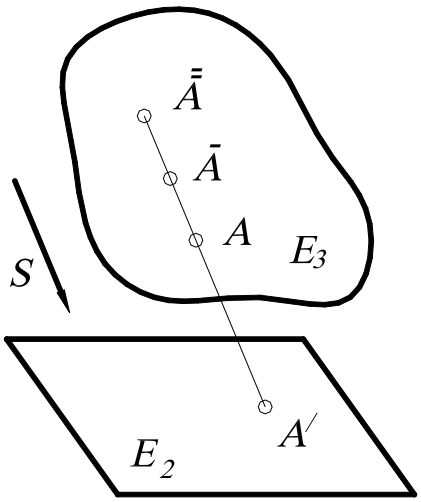


Рис. 3.

Таким образом, об отображении можно говорить, если заданы два множества и некоторое правило или закон, по которому элементы множеств образуют пары, причем эти множества по этому закону, вообще говоря, не равноправны.

Наглядной иллюстрацией сказанного является отображение точек трёхмерного пространства $\boldsymbol{E^3}$ на плоскость (двумерное пространство) $\boldsymbol{E^2}$ путём параллельного проецирования (рис. 3): каждая точка $\boldsymbol{A}$ трёхмерного пространства $\boldsymbol{E^3}$ в данном направлении $\boldsymbol{S}$ проецируется в единственную точку $\boldsymbol{A'}$ плоскости $\boldsymbol{E^2}$. Однако в точку $\boldsymbol{A'}$ проецируется не только точка $\boldsymbol{A}$, но и все точки $\bar{\bar{\boldsymbol{A}}}, \bar{\boldsymbol{A}}, \ldots$.

Рассмотрим пример. Пусть $\boldsymbol{З}$ – множество зрителей в фойе театра перед спектаклем, а $\boldsymbol{К}$ – множество кресел. Как узнать, что зрителей и кресел поровну? Конечно, можно подсчитать, но мы получим избыточную информацию, нас не интересует их количество. Однако если во время спектакля все места заняты, причем никто из зрителей не стоит в проходах и на каждом месте сидит только один театрал, то это означает, что эти множества равны, в противном случае – наоборот.

Рассмотрим другой пример. Пусть в классе находится множество учеников и множество стульев. Предположим, что после звонка на урок каждый ученик занял свое место, то есть свой стул. В этом случае можно сказать, что задано отображение множества учеников на множество стульев. При этом если на каждом стуле сидит только один ученик, никто не стоит в проходах и все места заняты (например, имеем в классе 30 учеников и 30 стульев), то есть каждому ученику соответствует один единственный стул, и, наоборот, каждому стулу соответствует единственный ученик. Такое отображение называют ***взаимно однозначным*** (иногда говорят: «взаимно однозначное соответствие»).

Отображение называется ***взаимно однозначным***, если каждому элементу $\boldsymbol{y_i \in Y}$ соответствует единственный прообраз $\boldsymbol{x_i \in X}$ (и наоборот), то есть прямое соответствие $\boldsymbol{y = f(x)}$ и обратное соответствие $\boldsymbol{x = f^{-1}(y)}$ являются однозначными. Такое отображение называется ***биективным***, или ***биекцией***.

Взаимно однозначное соответствие между элементами множеств (или между множествами) может быть установлено различными способами. На рис. 4 такое соответствие между точками двух отрезков (или между отрезками) $\boldsymbol{AB}$ и $\boldsymbol{CD}$ установлено прямыми, проходящими через точку $\boldsymbol{S}$. При этом точке $\boldsymbol{X \in AB}$ соответствует точка $\boldsymbol{Y \in CD}$, что символически записывается так: $\boldsymbol{X \leftrightarrow Y}$. Между этими отрезками можно установить соответствие так: $\boldsymbol{X \leftrightarrow Y}$, если $\boldsymbol{\frac{CY}{AX} = \frac{CD}{AB}}$, где $\boldsymbol{CY}$, $\boldsymbol{CD}$, $\boldsymbol{AB}$, $\boldsymbol{AX}$ – длины отрезков.

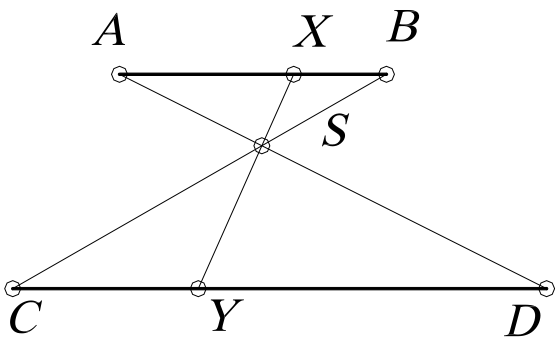


Рис. 4.

Второе соответствие отличается от первого не только формой задания, но и парами соответствующих точек. Это можно заметить хотя бы по концам отрезка. В первом соот-

ветствии $A \leftrightarrow D$, $B \leftrightarrow C$, во втором – $A \leftrightarrow C$, $B \leftrightarrow D$. Этими двумя примерами не исчерпывается множество взаимно однозначных соответствий, которые могут быть установлены для точек данных отрезков.

Кроме этого, встречаются многозначные соответствия. Например, легковой машине соответствует 4 колеса, и наоборот. Такое отображение называется одно-четырёхзначное ($1 \leftrightarrow 4$). Одно-двузначное отображение можно рассмотреть на примере действительных чисел, то есть каждому действительному числу соответствует пара рационального и иррационального чисел, и наоборот: $1 \leftrightarrow 2$.

Примером обратимого соответствия является отображение двух плоскостей друг на друга при параллельном проецировании (рис. 5). Если в обратимом отображении область прибытия и область отправления – одно и то же множество ***M***, то такое отображение называется отображением множества на себя, или ***преобразованием множества M.***

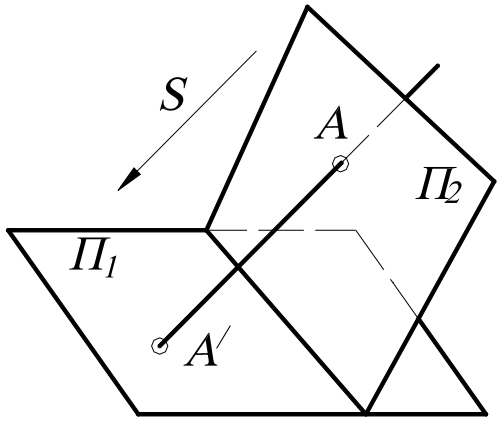


Рис. 5.

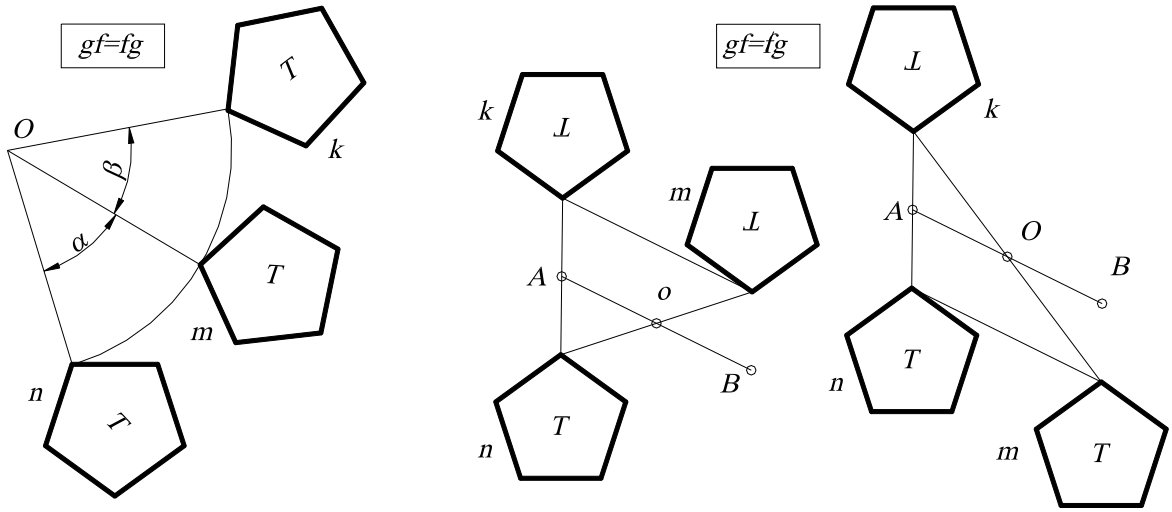
Отображение называется ***преобразованием***, если множества ***X*** и ***Y*** совмещены, то есть не только элементу x_i соответствует определённый элемент y_i, но и элементу y_i соответствует тот же элемент x_i. В этом случае говорят, что множество ***X*** отображается на себя ***{X=Y}***. Другими словами, если отображение является обратимым, то оно называется преобразованием. Например, центральная симметрия точек пространства относительно некоторой точки ***O*** есть преобразование пространства.

Говоря о геометрическом ***преобразовании***, обычно подразумевают, что ***M*** – множество точек плоскости или пространства. Если какое-то свойство фигуры ***F*** сохраняется в преобразовании ***f***, то есть фигура $F' = f(F)$ обладает тем же свойством, то это свойство называется ***инвариантом*** преобразования.

Итак, ***преобразование*** – это взаимно однозначное отображение между всеми точками плоскости (или пространства), то есть правило, при котором каждой точке ***P*** соответствует единственная точка P', и, наоборот, каждой точке P' соответствует единственная точка ***P***. Другими словами, правило, таким образом составляющее пары точек, что каждая точка ***P*** плоскости (или пространства) ровно в одной паре стоит на первом месте и ровно в одной паре - на втором.

Может случиться, что обе точки пары окажутся одинаковыми. То есть что точка P' совпадает с точкой ***P***. В этом случае точка ***P*** называется неподвижной (двойной) точкой преобразования.

Результат последовательного выполнения нескольких преобразований называется их ***произведением***, или ***композицией преобразований.*** Другими словами, преобразование, переводящее прообразы первого в образы второго при условии, что образы первого отождествлены с прообразами второго. Иначе говоря, если $f(k) = m$ и $g(m)=n$, то произведение $h=gf$ переводит ***k*** в ***n***, то есть $h(k)=n$ (преобразование, выполняемое первым, пишут ***справа!***). Например, если ***f*** и ***g*** – повороты вокруг центра ***O*** на углы α и β, то $h=gf$ – поворот с той же осью на угол $\alpha+\beta$ (рис. 6, *а*). Если ***f*** – перенос на вектор ***AB***, а ***g*** – симметрия с центром ***O***, то $h=fg$ – симметрия с центром ***A***, где $2AO=AB$ (такое преобразование показано на рис. 6, *б*).
Здесь в первом примере произведение $h=gf=fg$, то есть не зависит от порядка сомножителей, то есть в этом случае говорят, что ***f*** и ***g перестановочны*** или ***коммутируют***. Однако во втором примере произведение зависит от порядка сомножителей, то есть не коммутирует: $fg \neq gf$ (сравните два рисунка – 6, *а* и 6, *в* или 6, *а* и 6, *б*).



а *б* *в*

Рис. 6.

Аналогично иногда результат двух операций зависит от порядка их выполнения, а иногда – и нет. Например, операции надевания левого и правого ботинок ***Л*** и ***П*** перестановочны: ***ЛП=ПЛ***, а операции надевания ботинка ***Б*** и носка ***Н*** – не коммутируют ***БН≠НБ.***

1.3. ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧАМ НА ПОСТРОЕНИЕ

Любую задачу на построение можно сформулировать в общем виде так: «Построить объекты a_1, a_2 …, являющиеся элементами множества M и удовлетворяющие условиям *1*, *2* **…**». Число объектов и условий зависит от конкретного содержания задачи.

Элементы множества M, удовлетворяющие условию *1*, образуют некоторое подмножество $M_1 \subset M$, условие *2* выделяет из M подмножество M_2 и т. д. Искомые объекты получаются как результат пересечения подмножеств M_1, M_2, **…**, т. е. $\{a_1, a_2, \ldots\}=M_1 \cap M_2 \cap \ldots$.

Задача 1. Построить на плоскости точки a_1, a_2, удаленные от данной точки O_1 на расстояние r_1 и от точки O_2 на расстояние r_2 (рис. 7).

Подмножество M_1, выделяемое из плоскости M (здесь плоскость – это множество M) согласно первому условию, – это окружность с центром O_1 и радиусом R_1. Аналогично, M_2 – это окружность с центром O_2 и радиусом R_2. Тогда получают искомые точки: $\{a_1, a_2\}=M_1 \cap M_2$.

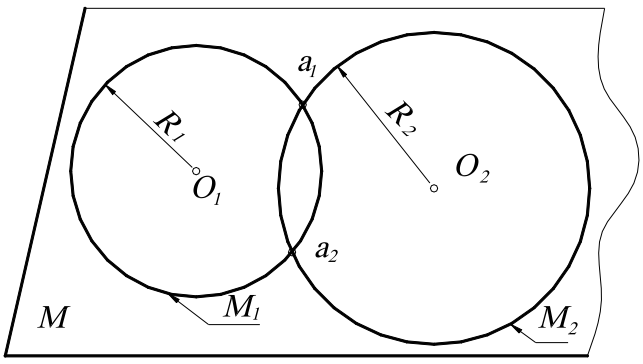
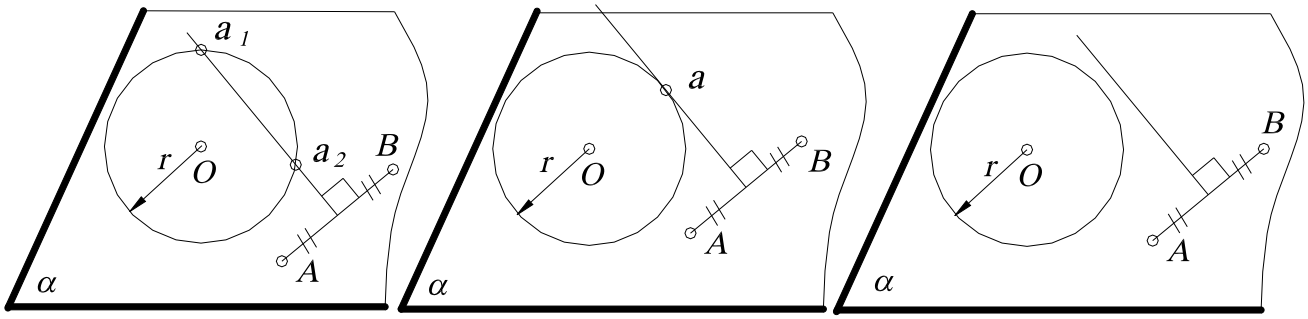


Рис. 7.

Задача 2. Найти на плоскости точку a, удаленную на расстояние r от точки O и равноудаленную от точек A и B.

Подмножество M_1, выделяемое первым условием из плоскости M, - окружность с центром O и радиусом r. Подмножество M_2, удовлетворяющее второму условию, – перпендикуляр, восстановленный к середине отрезка AB. Искомая точка a есть пересечение окружности с перпен-

дикуляром, то есть $a=M_1 \cap M_2$. В данном случае может получиться две, одна или ни одной точки (мнимые) пересечения $M_1 \cap M_2=\varnothing$ (рис. 8, *а*, *б*, *в*).



а *б* *в*

Рис. 8.

Такой метод называется ***расчленением условий***, то есть элементы из ***M***, удовлетворяющие первому условию, образуют некоторое подмножество; взятое отдельно второе условие выделяет из множества ***M*** другое подмножество и т. д. Искомые объекты получаются как результат пересечения этих подмножеств.

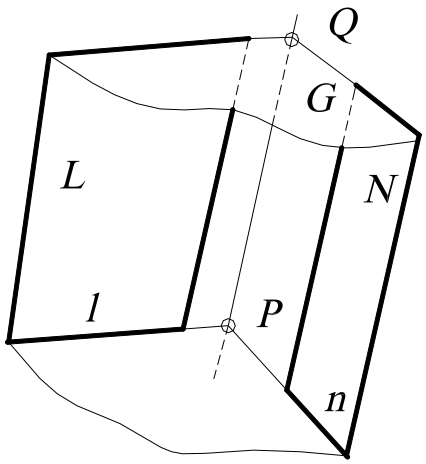


Рис. 9.

Задача 3. Найти прямую пересечения двух плоскостей ***L*** и ***N*** (рассматривают ***L*** и ***N*** как подмножества пространства, элементом которых является точка). Задают вспомогательную плоскость-посредник ***M*** и находят пересечение этих подмножеств $L \cap N \cap M$ (рис. 9). Пользуясь свойством идемпотентности, преобразуют: $L \cap N \cap M = L \cap N \cap (M \cap M)$, и далее, пользуясь свойствами коммутативности и ассоциативности, преобразуют: $L \cap N \cap (M \cap M)=(L \cap M) \cap (M \cap N)$. Другими словами, введя плоскость-посредник, находят вначале пересечение посредника с заданными плоскостями (прямые ***l***, ***n***), а затем пересечение этих пересечений (точка ***P***).

Взяв другую вспомогательную плоскость ***G*** и повторив те же самые операции, находят вторую точку ***Q***. Соединив точки ***P*** и ***Q***, получают искомую прямую ***m***. Этот прием применяют в начертательной геометрии при построении точек линии пересечения поверхностей, введя предварительно поверхность-посредник.

1.4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВА И ИХ РАЗМЕРНОСТЬ

Термин «пространство» часто встречается в геометрии. Существуют аффинное пространство, евклидово, проективное, топологическое, эллиптическое и другие. Любое пространство представляет собой множество, удовлетворяющее определенной системе аксиом.

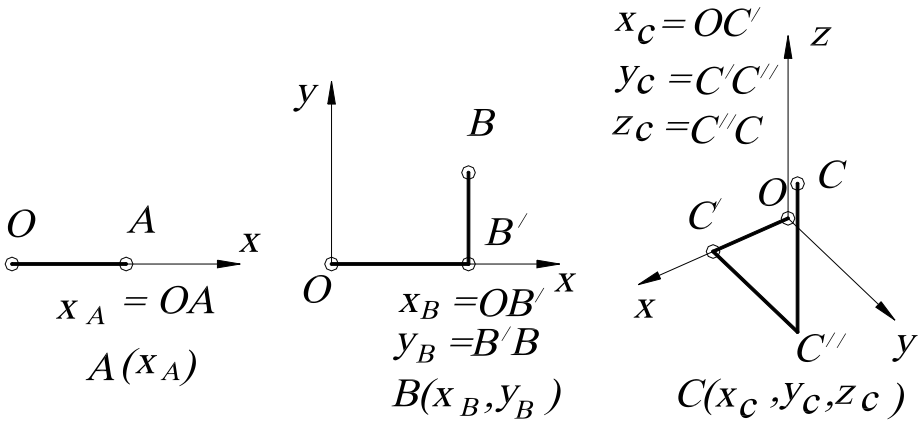
В данном курсе будем рассматривать евклидово пространство, то есть множество точек, удовлетворяющее аксиомам евклидовой геометрии, которая изучалась в средней школе. Необходимо отметить, что евклидово пространство не одно. Множества точек различной мощности будут давать отличающиеся друг от друга евклидовы пространства. Точка, прямая, плоскость, физическое пространство – это примеры евклидовых пространств различной мощности.

Интуитивно мы понимаем, что на плоскости точек больше, чем на прямой, так как прямая может быть совмещена с некоторой прямой на плоскости. На поверхности точек меньше, чем в пространстве, то есть поверхность - подмножество пространства, поэтому поверхность содержит «меньше» точек, чем пространство.

Таким образом, среди бесконечных множеств существует своя иерархия. Можно сказать, что если множество ***M*** можно взаимно однозначно и взаимно непрерывно отобразить на множество ***N***, то ***M*** и ***N*** имеют одинаковую размерность. Если же такого отображения не существует, но существует взаимно однозначное и взаимно непрерывное отображение множества ***M*** на подмножество $N_1 \in N$, то ***M*** имеет размерность меньше, чем ***N***.

При моделировании необходимо иметь возможность оценить мощность бесконечного множества. Для этого вводится понятие параметра. ***Параметром называется величина, входящая в некоторую совокупность величин, задание которых определяет элемент множества.*** При этом параметры должны быть независимыми, то есть значения, которые принимает один из параметров, не влияют на значения других, при любом изменении параметров им должен соответствовать уже другой элемент множества. Иными словами, между элементами множества и совокупностями (наборами) параметров установлено взаимно однозначное соответствие.

Число параметров ***p***, которое необходимо задать, чтобы определить элемент множества, называется ***параметрическим числом*** этого множества, а само множество – ***p-параметрическим.*** Параметрическое число может быть взято в качестве количественной характеристики бесконечных множеств. В качестве параметров для евклидовых пространств могут быть взяты координаты точки в декартовой системе координат (декартовы координаты).



а *б* *с*

Рис. 10

На прямой для того, чтобы определить (задать) точку, необходима одна координата (говорят, что точка на прямой имеет одну степень свободы) (рис. 10, *а*), на плоскости – две координаты (то есть точка имеет две степени свободы) (рис. 10, *б*), в пространстве – три, и точка имеет три степени свободы (рис. 10, *в*). Нетрудно заметить, что координаты являются независимыми, то есть при изменении координаты, например ***x***, изменяется положение точки на плоскости.

Число параметров (координат), которое необходимо задать, чтобы определить точку в пространстве, называется ***размерностью*** пространства. Таким образом, ***размерность*** – это параметрическое число множества, которое является пространством. В связи с этим будем считать, что точка – «нульмерное» пространство (аксиома). Линия (прямая) – одномерное евклидово пространство, которое обычно обозначается E_1, или одномерное множество точек - ∞^1. Поверхность (плоскость) – двумерное евклидово пространство, обозначается E_2, или

двумерное множество точек - ∞^2, а трехмерное евклидово пространство имеет размерность, равную ***3***, – трехмерное множество точек - ∞^3, обозначается E_3. Употребляется также запись ***dim M=n***, означающая «размерность множества ***M*** равна ***n***» (***dimension*** (англ.) – размерность).

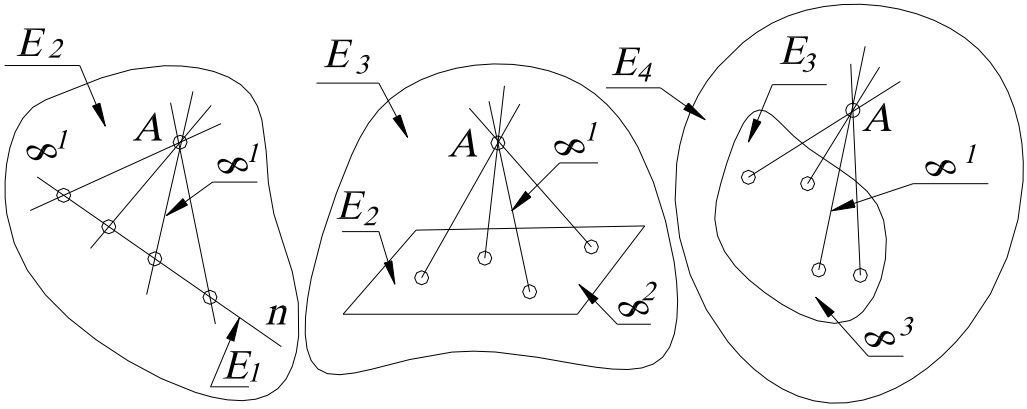
Пусть ***N*** – двупараметрическое множество. Каждый элемент из ***N*** определяется конкретной парой чисел из множества (a_1, a_2). Между ***N*** и E_2 можно установить взаимно однозначное соответствие, так как они одной мощности (параметрическое число ***N*** и размерность E_2 равны). Соответствие можно установить, например, так: $x=a_1$, $y=a_2$. Каждому элементу из ***N*** будет соответствовать точка из E_2. Пространство E_2 будет являться геометрической моделью ***N***.

Итак, множество имеет размерность ***n***, если его элементам можно взаимно однозначно поставить ***n***-ки («***энки***») чисел $a_1, a_2, a_3 \ldots, a_n$, то есть ***n***-я декартова степень множества. Эти числа называют параметрами конкретного множества.

Таким образом, за ***эталон n-мерного множества принимают множество R_n, элементом которого служит n-ка вещественных чисел $a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n$, то есть n-я декартова степень множества вещественных чисел***.

1.5. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА

ДВУМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО. Для геометрического построения пространства E_2 возьмем точку, не принадлежащую прямой ***n*** (или пространство E_1), и установим взаимно однозначное соответствие между прямыми пучка и точками прямой. Объединение точек всех этих прямых (вместе с их несобственными точками) будет определять двумерное пространство E_2 (рис. 11, *а*). Если не учитывать несобственные точки, то пришлось бы «выбросить» из E_2 прямую, параллельную прямой ***n***.



E_2: $\infty^1 \cdot \infty^1 = \infty^{1+1} = \infty^2$; E_3: $\infty^1 \cdot \infty^2 = \infty^{1+2} = \infty^3$; E_4: $\infty^1 \cdot \infty^3 = \infty^{1+3} = \infty^4$

а *б* *в*

Рис. 11.

ТРЁХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО. Для геометрического построения пространства E_3 возьмем точку, не принадлежащую пространству E_2 (то есть плоскости) и также установим взаимно однозначное соответствие между прямыми связки и точками ***2***-пространства (рис.11, *б*). Объединение точек всех этих прямых (вместе с их несобственными точками) есть трехмерное пространство E_3. Пространство E_2 (как и в первом случае пространство E_1) является проективным пространством, то есть пространство, дополненное несобственными элементами. В противном случае из связки нам пришлось бы «выбросить» пучок прямых, параллельных E_2, а из E_3 – плоскость этого пучка.

ЧЕТЫРЁХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО. Начнем с аналогичного построения четырехмерного пространства E_4. Возьмем точку, не принадлежащую трехмерному евклидову пространству E_3, дополненному несобственными элементами, и установим взаимно однозначное соответствие между прямыми гиперсвязки и точками ***3***-пространства (рис.11, *в*). Объединение точек всех этих прямых будет определять пространство E_4. Аналогично строится многомерное пространство.

Таким образом, мы пришли к идее многомерного пространства. Понятие многомерного пространства или многомерного множества довольно абстрактное, но и в евклидовом пространстве на каждом шагу встречаются такие множества. Например, прямая – одномерное множество точек (самое простое множество), множество сфер и множество прямых трёхмерного пространства – четырехмерны, множество конусов вращения – шестимерно; цилиндров вращения – пятимерно; множество сфер, касающихся данной плоскости, - трёхпараметрическое множество.

Рассмотрим подробнее примеры и приемы подсчета параметров.

1.6. ПРИЁМЫ ПОДСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ

1. Эталон *n*-мерного множества. За эталон ***n***-мерного множества принимают множество R_n, элементом которого служит ***n***-ка вещественных чисел $a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n$, то есть ***n***-я декартова степень множества вещественных чисел.

2. Взаимно однозначное и взаимно непрерывное отображение данного множества на эталон. Например, устанавливая взаимно однозначное соответствие между прямыми связки и точками плоскости или устанавливая взаимно однозначное соответствие между пучком плоскостей и точками прямой.

Два важных замечания

Замечание 1. Для бесконечных множеств имеют место два факта, кажущиеся на первый взгляд парадоксальными, поскольку они не имеют места для конечных множеств.

Некоторые собственные подмножества бесконечного множества можно взаимно однозначно отобразить на это множество.

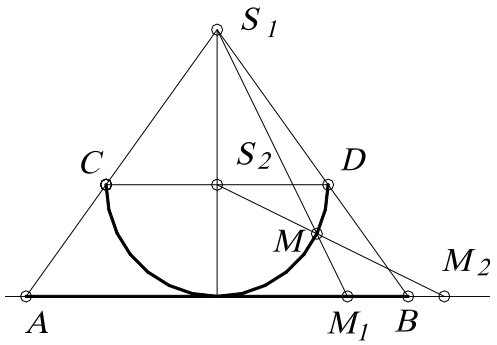


Рис. 12.

Для примера рассмотрим отображение открытого отрезка ***AB*** (открытый отрезок – «отрезок без концов», координаты которого удовлетворяют неравенству $x_A < x_i < x_B$) на прямую, которая совпадает с прямой ***AB*** (рис.12). Полуокружность ***CD*** касается в точке середины отрезка ***AB***. Вначале отображают точки отрезка ***AB*** на эту полуокружность из точки S_1, то есть точке M_1 соответствует точка ***M***).

Затем точки полуокружности (см. точку ***M***) отображают на прямую (точке ***M*** соответствует точка M_2) из центра S_2. Ясно, что при этом каждой точке прямой соответствует одна и только одна точка прямой, причём ни одна точка на прямой не пропущена. Это отображение является взаимно однозначным, то есть отрезку прямой соответствует вся прямая.

Полученное соответствие можно установить и по-другому, с помощью кривой тангенсоиды, графика функции $y = tg\ x$. Отображают вначале (с помощью пучка параллельных прямых) открытый отрезок $(-\pi/2, \pi/2)$ на тангенсоиду, причём каждой точке открытого отрезка соответствует единственная точка тангенсоиды, а затем точки тангенсоиды на ось ***y*** (рис. 13).

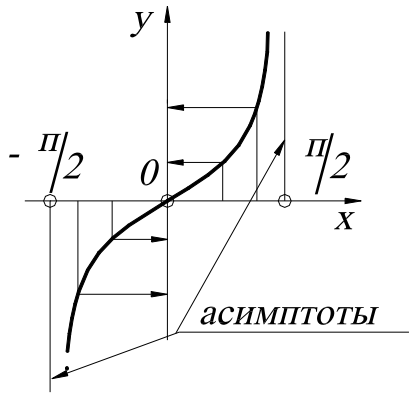


Рис. 13.

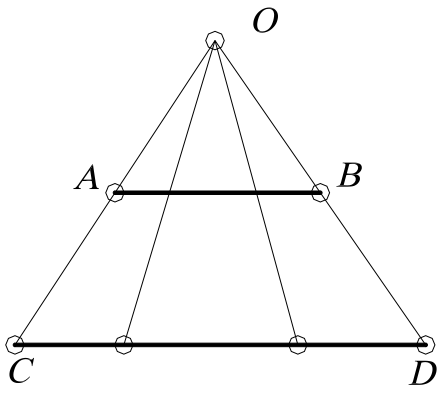


Рис. 14.

<u>Замечание 2.</u> Размерность суммы (объединения) нескольких бесконечных множеств принимают равной максимальной из размерностей слагаемых.

Другими словами, размерность множества не увеличится, если к нему добавить множество меньшей или равной размерности. Например, если объединить множество точек прямой и множество точек плоскости (то есть вложить прямую в эту плоскость), то размерность множества точек на плоскости не увеличится.

Рассмотрим еще примеры сравнения бесконечных множеств. Ответ на вопрос: где больше точек, на отрезке длиной 1 мм или на отрезке 1 м вряд ли бы вызвал тень сомнения – ясно, что отрезок 1 мм в 1000 раз короче метра. Однако можно установить взаимно однозначное соответствие и проверить это. Как это сделать, лучше всего видно на рис. 14.

Отобразим отрезок ***AB*** на отрезок ***CD*** из точки ***O*** пучком прямых. Каждой точке отрезка ***AB*** соответствует единственная точка отрезка ***CD***. Трудно примириться с мыслью, что дорога в миллион световых лет имеет столько же точек, сколько радиус атомного ядра!

<u>3. Степени свободы подпространств.</u> Если две точки пространства E_m принадлежат E_n, то E_m называется подпространством E_n. Например, ***m=1***, ***n=2*** – прямая принадлежит плоскости, тогда прямая является подпространством плоскости, очевидно, что $m<n$. В многомерной геометрии наиболее распространена следующая терминология: E_n – объемлющее ***n***-мерное пространство, E_m – ***m***-мерная плоскость или ***m***-плоскость, если размерность подпространства меньше объемлющего пространства на единицу, то такое многообразие называется ***(n-1)***-плоскость, или ***гиперплоскость***.

Из аксиом принадлежности следует, что прямая (***1***-плоскость) определяется двумя точками, ***2***-плоскость – тремя неколлинейными точками, ***3***-плоскость – четырьмя некомпланарными точками, …, ***n***-плоскость – ***(n+1)***-точками. При этом каждая плоскость (где $m<n$) определяется заданием ***(m+1)***-точек, и эти точки не должны содержаться в ***(m-1)***-пространстве.

Рассмотрим множество ***m***-плоскостей E_n (где ***n*** – размерность пространства), элементом этого множества является ***m***-плоскость. Начнем с простого примера – прямой, находящейся в двумерном пространстве.

<u>ДВУМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО.</u> Точка (***0***-плоскость) в двумерном пространстве определяется двумя координатами, то есть параметрическое число равно двум - ∞^2.

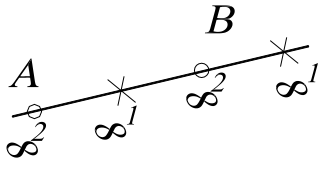


Рис. 15.

Прямая (***1***-плоскость) однозначно задается двумя независимыми точками ***A*** и ***B*** (то есть ***m+1=1+1=2***), каждая из которых в двумерном пространстве имеет по две степени свободы. Поэтому на задание каждой из них затрачиваем по два параметра, а на пары (или ***m+1***-точек) точек – следующее число параметров: ***n(m+1)=2(1+2)=4*** (рис.15). Другими словами, го-

ворят, что система из ***(m+1)***- точки составляет ***n(m+1)***-параметрическое множество.

Но прямая ***AB*** определяется не только парой точек ***A*** и ***B***, но и любой другой своей парой, принадлежащей прямой ***AB***. Каждая из этих двух точек ***(m+1***-точек), находясь на прямой (в общем случае в ***m***-плоскости), имеет по одной степени свободы (в общем случае – ***m*** степеней свободы), а вместе – ***m(m+1)=1(1+1)=2*** степеней свободы.

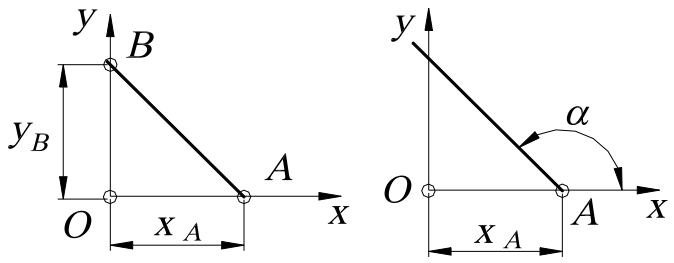
Следовательно, число условий, требуемых для определения прямой (***m***-плоскости), принадлежащей 2-пространству (*n*-плоскости):

$$\frac{\infty^{2}\cdot\infty^{2}}{\infty^{1}\cdot\infty^{1}}=\frac{\infty^{2+2}}{\infty^{1+1}}=\infty^{4-2}=\infty^{2};$$

в общем случае $\dfrac{\infty^{n(m+1)}}{\infty^{m(m+1)}}=\infty^{(n-m)(m+1)}$.

Таким образом, число ***P*** степеней свободы (параметрическое число) ***m***-плоскости в ***n***-пространстве:

$$P=(n-m)(m+1). \qquad (1)$$

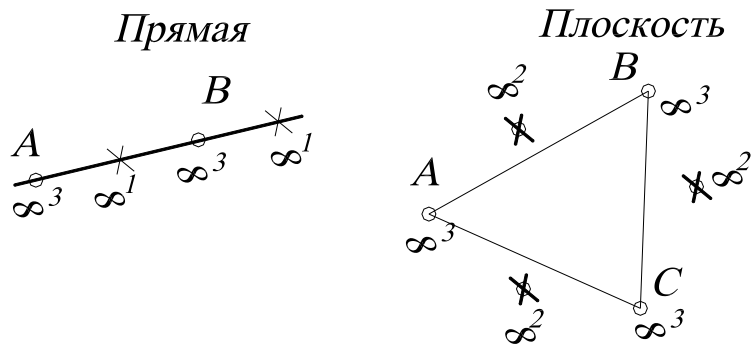


а *б*

Рис. 16.

Геометрический смысл параметров может быть различным. Например, для двупараметрического множества прямых на плоскости это могут быть x_A, y_B (рис. 16, *а*) или x_A, α (рис. 16, *б*).

ТРЕХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО. Точка (***0***-плоскость) в трехмерном пространстве имеет три степени свободы - ∞^{3}. ***Прямая*** однозначно задается двумя независимыми точками (рис. 17, *а*), каждая из которых в ***3***-пространстве имеет по три степени свободы, а значит, пар точек $\infty^{3}\cdot\infty^{3}=\infty^{6}$. Но эта прямая определяется не только этой парой точек, но и любой другой своей парой, имеющей на этой прямой по одной степени свободы, то есть $\infty^{1}\cdot\infty^{1}=\infty^{2}$. Следовательно, число степеней свободы прямой в ***3***-пространстве $\infty^{6}:\infty^{2}=\infty^{4}$, что соответствует формуле ***P=(n-m)(m+1)=(3-1)(1+1)=4.***



$$\frac{\infty^{3}\cdot\infty^{3}}{\infty^{1}\cdot\infty^{1}}=\frac{\infty^{3+3}}{\infty^{1+1}}=\infty^{6-2}=\infty^{4} \qquad \frac{\infty^{3}\cdot\infty^{3}\cdot\infty^{3}}{\infty^{2}\cdot\infty^{2}\cdot\infty^{2}}=\frac{\infty^{3+3+3}}{\infty^{2+2+2}}=\infty^{9-6}=\infty^{3}$$

а *б*

Рис. 17.

Плоскость однозначно задается тремя точками, каждая из которых имеет по три степени свободы, а значит, троек точек: $\infty^3 \cdot \infty^3 \cdot \infty^3 = \infty^9$ (рис.17, *б*). Но плоскость определяется не только этой тройкой, но и любой другой своей тройкой точек, имеющих в этой плоскости по две степени свободы, то есть $\infty^2 \cdot \infty^2 \cdot \infty^2 = \infty^6$. Тогда параметрическое число плоскости, находящейся в ***3***-пространстве, будет составлять трехпараметрическое множество, то есть $\infty^9 : \infty^6 = \infty^{9-6} = \infty^3$, что соответствует формуле ***P=(3-2)(2+1)=3***.

Вообще это число ***(n-m)(m+1)*** стоит на месте ***(к+1)*** меньше в ***n***-й строке «подвешенной за угол» таблице умножения, такая таблица называется «Треугольник Паскаля» (рис. 18).

```
          1
        2   2
      3   4   3
    4   6   6   4
  5   8   9   8   5
6  10  12  12  10  6
.....................
```

Рис. 18.

Примеры различных геометрических многообразий

1. Сфер в пространстве E_3 - ∞^4, так как сфере соответствует четыре числа – три координаты ее центра и одно – длина её радиуса.

2. Цилиндр вращения в пространстве E_3 определяется пятью параметрами ∞^5 - четыре параметра на ось и один на радиус.

3. Треугольников в пространстве E_3 – ∞^9, поскольку треугольник однозначно определен, если заданы три его вершины тройкой координат ***3·3=9***. Аналогично, тетраэдров в ***3***-пространстве - ∞^{12}.

4. Сфер в трёхмерном пространстве, проходящих через данную точку, - ∞^3, то есть центров, лежащих на прямой, составляет - ∞^1, а таких прямых – связка ∞^2.

5. Сфер, касающихся плоскости - ∞^3.

6. Окружностей на плоскости - ∞^3.

7. Множество касательных плоскостей к поверхности - ∞^2 (за исключением развертывающихся ∞^1).

8. Окружностей в ***3***-пространстве - ∞^4.

4. Связывание параметров. Если на элементы ***n***-мерного многообразия ***M*** (например, ***M***-связка прямых) наложено определенное условие (например, прямые связки ***M*** должны пересекать произвольную прямую), причем элементы из ***M***, которые удовлетворяют этому условию, образуют n_1-мерное подмножество $M_1 \subset M$ (пучок прямых, определяемых центром связки и произвольной прямой, не проходящей через центр), то это условие (требование, ограничение) равносильно фиксированию $n-n_1$ параметров, то есть приданию этим параметрам определенных числовых значений. Это означает, что, фиксируя $n-n_1$ параметров, мы выделяем из ***M*** подмножество той же размерности n_1. В этом случае говорят не о фиксации, а о связывании параметров, употребляя выражения: «***условие связывает $n-n_1$ параметров***», «***ограничение поглощает $n-n_1$ параметров***», «***требование накладывает на параметры $n-n_1$ связей (понижает размерность многообразия на $n-n_1$)***».

Аналитически такое задание эквивалентно тому, что ***n***-ки параметров, соответствующие элементам из ***M***, удовлетворяют $n-n_1$ уравнениям. Аналогично, фиксируя две (три) координаты или связывая координаты двумя (тремя) параметрами (уравнениями), мы выделяем из трехмерного пространства его одномерное (нульмерное) подмножество.

Пусть ***m***-плоскость (***m***-плоскость определяется ***(m+1)*** фиксированной точкой) проходит через пространство ***r***, которое задается ***(r+1)*** фиксированной точкой. Тогда для полного

определения необходимо дозадать еще $(m+1)-(r+1)=m-r$ точек. Поэтому ***число P степеней свободы m-плоскости, принадлежащей n-мерному пространству и проходящей через r-плоскость:***

$$P=(n-m)(m-r). \quad (2)$$

ПРИМЕР 1. Множество прямых $(m=1)$ плоскости $(n=2)$, проходящих через точку $(r=0)$, составляет пучок, то есть однопараметрическое множество: $P=(n-m)(m-r)=(2-1)(1-0)=1$.

ПРИМЕР 2. Множество прямых $(m=1)$ пространства $(n=3)$, проходящих через точку $(r=0)$, составляет связку: $P=(3-1)(1-0)=2$.

ПРИМЕР 3. Множество плоскостей $(m=2)$ трехмерного пространства $(n=3)$, проходящих через точку $(r=0)$, составляет связку: $P=(3-2)(2-0)=2$.

ПРИМЕР 4. Множество прямых пространства $(n=3)$, пересекающих прямую, рассчитывается следующим образом. Вначале считают, сколько прямых проходит через точку, – связка $P_1=2$ (см. пример 3), затем считают, сколько связок $(m=2)$ в трехмерном пространстве на прямой $P_1=(3-2)(2-1)=1$. Следовательно, прямые, пересекающие заданную прямую, составляют комплекс $P=P_1+P_2=1+2=3$.

В пространстве E_n m-пространство имеет $(n-m)(m+1)$ степеней свободы, но если оно проходит через r-пространство, то оно имеет $(n-m)(m-r)$ степеней свободы. Следовательно, число условий, необходимых для того, чтобы m-пространство в E_n проходило через данное r-пространство (где $n>m>r$):

$$D=(n-m)(m+1)-(n-m)(m-r)=(n-m)(r+1). \quad (3)$$

ПРИМЕР 5. В трехмерном пространстве $(n=3)$ число условий, необходимых для прохождения прямой линии $(m=1)$ через данную точку $(r=0)$: $D=(n-m)(r+1)=(3-1)(0+1)=2$. Другими словами, множество прямых трехмерного пространства четырехпараметрично $(P_1=(3-1)(1+1)=4)$, а в связке (множество прямых, проходящих через точку) – двупараметрично $(P_2=(3-1)(1-0)=2)$. Поэтому число условий D, которые требуется наложить на прямые, чтобы они принадлежали данной связке, равно разности P_1-P_2, то есть $D=4-2=2$.

Если r-пространство не фиксировано и имеет степени свободы в q-пространстве, равное $(r+1)(q-r)$, следовательно, число условий, которое необходимо наложить, чтобы m-пространство и q-пространство в пространстве E_n пересекались по r-пространству:

$$(n-m)(r+1)-(r+1)(q-r)=(r+1)(n-m-q+r), \quad (4)$$

где $m+q \le n+r$, если $m+q>n+r$, то они пересекаются по пространству размерности $m+q-n$, что больше, чем r.

ПРИМЕР 6. Применение формулы (4) покажем на примере определения количества направляющих линейчатой поверхности (в качестве направляющих для простоты возьмем прямые). Требование пересечения образующей линии $(m=1)$ с одной направляющей прямой $(q=1)$ в точке $(r=0)$ равносильно числу условий, накладываемых на образующую и вычисляемых так: $D=(3-1-1+0)(0+1)=1$. Поэтому для выделения из четырехпараметрического множества прямых трёхмерного пространства линейчатой поверхности (однопараметрического множества прямых) необходимо задать три направляющие ($n-n_1=4-1=3$).

ПРИМЕР 7. Коническая поверхность определяется вершиной одной направляющей. Как было показано (пример 6), пересечение образующей с направляющей линией в точке равносильно наложению на образующую одного условия. Прохождение образующей через вершину равносильно наложению двух условий и подсчитывается по формуле (3): $(3-1)(0+1)=2$. В сумме эти требования накладывают на прямую три условия и выделяют из четырехпараметрического множества прямых пространства коническую поверхность.

5. Размерность пересечения. Пусть M – n-мерное множество, M_1 и M_2 – его подмножества размерности m_1, m_2, выделенные условиями, связывающими соответственно $(n-m_1)$ и $(n-m_2)$ параметров.

Оба эти условия вместе связывают: $(n-m_1)+(n-m_2)=2n-m_1-m_2$ параметров. Поэтому размерность пересечения множеств M_1 и M_2, элементы которых удовлетворяют обоим условиям: $n-(2n-m_1-m_2)=m_1+m_2-n$.

$$n\cap = m_1 + m_2 - n, \qquad (5)$$

то есть ***размерность пространства пересечения равна сумме размерностей пересекающихся пространств без размерности операционного пространства***.

Если пересекаются ***i*** пространств, то применяется следующая формула:

$$n_{\cap} = m_1 + m_2 + ... + m_i - n(i-1);$$

$$n_{\cap} = \sum_{i=1}^{n} m_i - n(i-1), \qquad (6)$$

то есть ***размерность пространства пересечения равна сумме размерностей пересекающихся пространств без размерности пространства пересечения, взятой i -1 раз, где i – число пересекающихся пространств.***

Условия применения при использовании этой формулы:

1. Если оказалось, что размерность меньше нуля, это означает, что заданные множества не пересекаются.

2. Следует иметь в виду, что формула справедлива лишь для подмножеств M_1 и M_2 общего положения. Например, если M_1 и M_2 – прямые, а n – трехмерное пространство, то $n_1=n_2=1$, $n=3$, а $r= -1$, то есть M_1 и M_2 не пересекаются, хотя в частном случае две прямые могут иметь общую точку и даже совпадать (если прямые принадлежат одной плоскости).

3. В случае $r=0$ (нульмерным называется множество, состоящее из конечного числа элементов), поэтому, получив такой результат, не следует думать, что множество пересечений состоит из одного элемента; это возможно, но возможно также, что оно состоит из двух, трех и любого конечного числа элементов.

6. Расслоение множества на классы эквивалентности.

Итак, для множества M, имеющего размерность n: каждому элементу a, принадлежащему M $(a \in M)$, соответствует n-ка параметров $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$. Зафиксируем какой-либо параметр, например $a_n=0$. Тогда подмножество $M_1 \subset M$ (для элементов, где $a_n=0$). Следовательно, размерность множества M_1 равна $(n-1)$, то есть элемент из множества M_1 определяется набором $(n-1)$ параметров, «чисел».

Поскольку имеется бесчисленное однопараметрическое множество способов, которыми можно зафиксировать параметр a_n, то, следовательно, множество M расчленяется на однопараметрическое множество $(n-1)$-мерных подмножеств, каждое из которых соответствует одному из этих однопараметрических значений параметра a_n, причем никакие два из этих подмножеств не пересекаются, и объединение всех этих подмножеств есть множество M.

Такие подмножества называются ***классами эквивалентности***, означающими, что элементам a и b, принадлежащим множеству M, отнесены n-ки чисел $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$, $(b_1, b_2, \ldots, b_n)$, в которых $a_n=b_n$. Для фиксированной координаты u_1 в вышеприведенном примере такими классами эквивалентности являются непересекающиеся 2-поверхности.

Если фиксируются два параметра, то из множества M выделяется $(n-2)$-мерное подмножество. Выполняя перебор всех двухпараметрических способов фиксации этих двух параметров, мы получаем двупараметрическое семейство прямых, параллельных оси y.

В общем случае, фиксируя ∞^n раз m каких-то параметров, мы расслаиваем n-мерное множество M на ∞^m классов по ∞^{n-m} элементов в каждом.

Таким образом, если множество M разбить на ∞^m взаимно непересекающихся и заполняющих все множества M_1 подмножеств по ∞^n элементов в каждом, то M содержит:

$$\infty^m \cdot \infty^n = \infty^{m+n}. \qquad (7)$$

ПРИМЕР. Множество плоскостей пространства расслаивается на ∞^2 пучков параллельных плоскостей по ∞^1 плоскостей в пучке, то есть содержит $\infty^1 \cdot \infty^2 = \infty^{1+2} = \infty^3$.

7. Использование уравнений. Далее рассмотрим, как осуществляется подсчет параметрического числа поверхности, если последняя задана в аналитической форме. Для простоты начнем исследование с ***2***-поверхностей пространства E_3.

Рассматривая уравнение типа $Ax+By+Cz+D=0$, можно подсчитать размерность многообразия, а именно множество плоскостей пространства. Если мы придадим коэффициентам A, B, C, D определенные числовые значения A_0, B_0, C_0, D_0, то мы получим некоторую определенную плоскость $\alpha \in M$. Таким образом, имеется соответствие: «четверка чисел» (A_0, B_0, C_0, D_0) $\rightarrow$ плоскость пространства α_0, которое однозначно лишь в одном направлении.

Действительно, плоскости α_0 отвечает любая из четверок коэффициентов kA, kB, kC, kD, где k – любое число, не равное нулю. То есть уравнения:

$$A_0x+B_0y+C_0z+D_0=0;$$
$$kA_0x+kB_0y+kC_0z+kD_0=0$$

задают одну и ту же плоскость. Итак, одной четверке чисел соответствует одна плоскость, но одной плоскости соответствует однопараметрическое множество четверок чисел (столько же, сколько чисел k), соответственно пропорциональных четверок. Отношение «быть соответственно пропорциональным» является отношением эквивалентности на множестве четверок чисел. Поэтому четырехпараметрическое множество четверок чисел расслаивается на трехпараметрическое многообразие классов по однопараметрическому семейству пропорциональных четверок в каждом.

Таким образом, соответствие «класс пропорциональных четверок чисел – плоскость пространства» однозначно уже в обе стороны, и поэтому плоскостей в множестве M столько же, сколько таких классов, то есть ∞^3 - трехпараметрическое множество.

Если координаты x, y, z связаны двумя уравнениями, то этим выделяется одномерное подмножество трехмерного множества точек пространства – линия (в общем случае пространственная).

8. Размерность кривых, поверхностей. Параметрическое число P плоской алгебраической кривой m-го порядка:

$$P = \frac{m(m+3)}{2}. \qquad (8)$$

ПРИМЕР 1. Параметрическое число кривой второго порядка $m=2$ (например, коники): $P = \frac{2(2+3)}{2} = 5$, то есть, чтобы на плоскости выделить конику, нужно задать пять параметров.

В общем случае параметрическое число алгебраической поверхности m-го порядка:

$$P = \frac{1}{n!}\left[\prod_{i=1}^{n}(m+i)\right] - 1, \qquad (9)$$

где n – размерность объемлющего пространства; m – порядок поверхности.

ПРИМЕР 2. Поверхность второго порядка $m=2$ в трехмерном пространстве $n=3$ имеет следующее параметрическое число:

$$P = \frac{(2+1)(2+2)(2+3)}{1\cdot 2\cdot 3} - 1 = \frac{3\cdot 4\cdot 5}{2\cdot 3} - 1 = 9.$$

В приведенных выше примерах каждый коэффициент эквивалентен заданию одного условия. Поэтому говорят, что кривая второго порядка, будучи пятипараметрической, однозначно определяется заданием пяти точек, а поверхность второго порядка – заданием девяти точек.

1.7. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

При решении любой задачи важнейшим значением является задание необходимого и достаточного числа условий (параметров), которое необходимо при корректной постановке задачи. Если задача поставлена корректно, то у нее конечное число решений. Мы будем рассматривать только геометрические задачи, хотя в общем случае эту методику можно использовать при решении любых задач (экономических, технологических, экологических и т. д.).

На интуитивном уровне мы иногда понимаем, что задача составлена некорректно, то есть условий для выделения конечного числа решений недостаточно. Иногда встречаются такие задачи, где условий слишком много, то есть если убрать одно условие, то задача будет иметь конечное число решений. О таких задачах говорят, что условие поставлено слишком «жестко». Разрешить эти сомнения позволяет подсчет параметров. Рассмотрим конкретные задачи начертательной геометрии, начиная с самых простых.

ПРИМЕР 1. В плоскости ***xOy*** построить окружность, касающуюся оси ***x*** и имеющую центр на прямой **a** (рис. 19).

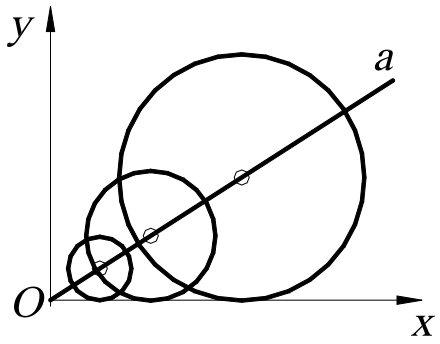


Рис. 19.

Условие задачи «неоднозначно», так как таких окружностей будет столько, сколько точек на прямой, то есть ∞^1. Действительно, параметрическое число окружности в пространстве E_2 равно трем (два параметра тратится на центр и один на радиус), а в задаче – только два условия (условие касания и принадлежность центра прямой). Поэтому необходимо задать еще одно условие, чтобы выделить конечное число решений, например, фиксированную точку на прямой – центр окружности или радиус окружности.

ПРИМЕР 2. Через точку ***B*** провести прямую, параллельную плоскостям ***α*** и ***β*** и пересекающую горизонтальную плоскость ***H*** в точке ***A*** (рис. 20).

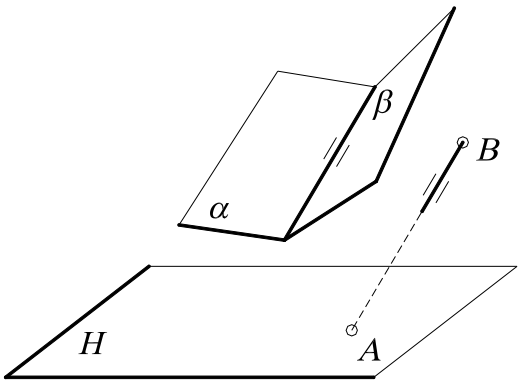


Рис. 20.

Условие задачи поставлено некорректно, «перезадано», так как параметрическое число прямой в пространстве E_3 равно четырем, а в задаче связывается пять условий (условие прохождения через точку связывает два параметра - ***2+2,*** так как две точки – ***A*** и ***B***; условие параллельности линии пересечения двух плоскостей – один). Действительно, если одну из точек переместить, то задача не будет иметь решения.

ПРИМЕР 3.

1. Через точку ***A*** провести прямую, пересекающую две скрещивающиеся прямые ***a*** и ***b.***

Известно, что прямых в **3**-пространстве четырехпараметрическое множество. Поэтому для того, чтобы построить эту прямую, необходимо «связать» четыре параметра. Условие прохождения прямых через фиксированную точку связывает у последней два параметра. В самом деле, возьмем произвольную (фиксированную) точку и установим взаимно однозначное соответствие (биекцию) между прямыми связки и точками плоскости (каждой точке плоскости соответствует единственная прямая связки, и наоборот). Точек на плоскости ∞^2, поэтому и множество прямых связки составляет дву-

параметрическое множество - ∞^2 (или по формуле ***P=(n-m)(m-r)=(3-1)(1-0)=2***). Очевидно, что связали два параметра ***D=4-2=2***, что соответствует формуле ***D=(n-m)(r+1)=(3-1)(0+1)=2***.

В случае прохождения прямых через две скрещивающиеся прямые (в данной задаче две прямые) связывает еще два параметра, так как в пучке прямых, пересекающих прямую ***b***, – ∞^1, но и на прямой ***a*** точек также ∞^1. Поэтому мы выделяем двупараметрическое множество прямых: $\infty^1 \cdot \infty^1 = \infty^{1+1} = \infty^2$, то есть конгруэнцию. Таким образом, связали все четыре параметра: ***D=4-2-2=0***. Задача поставлена корректно.

2. Если условие задачи изменить на следующее: построить прямую, проходящую через точку ***A*** и пересекающую три скрещивающиеся прямые.

В данной задаче число условий (как говорят) перезадано для выделения конечного числа решений. Условие прохождения через прямую связывает один параметр, так как в связке прямых ∞^2, а точек на прямой ∞^1, поэтому мы выделяем трехпараметрическое множество прямых $\infty^2 \cdot \infty^1 = \infty^3$, то есть линейный комплекс. Комплекс определяется заданием всех прямых, проходящих через фиксированную прямую.

Прямых в ***3***-пространстве, как известно, ∞^4, то есть связали один параметр ***D=4-3=1***. Условие прохождения всех прямых через две фиксированные прямые, как было сказано выше, «связывает» два параметра. Таким образом, условие прохождения прямых через три скрещивающиеся «связывает» три параметра. Следовательно, ***D=4-3=1***, то есть выделили однопараметрическое множество прямых, которое называется ***линейчатой поверхностью***, или ***регулюс***. Поэтому условие задачи поставлено некорректно, так как нет конечного числа решений. Однако на примере этой задачи показано, как выделяется линейчатая поверхность.

2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

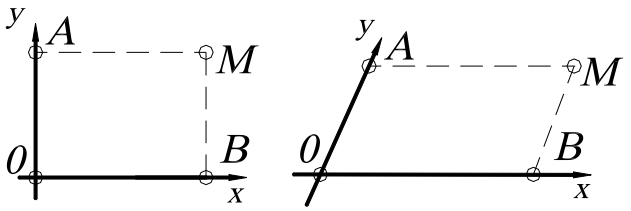
Координатами (от лат. *co* – приставка, означающая совместность, и *ordinatus* – упорядоченный, определённый) называют величины, заданием которых определяется положение точки на прямой, плоскости, поверхности или в пространстве.

2.1. ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ

Для одномерного случая хорошей иллюстрацией координат является термометр. Некоторой точке ставится в соответствие число ***0***, задаётся единица измерения, определяющая точки ***1, 2, 3…*** - положительные значения координат, которые располагаются на равных расстояниях друг от друга и с одной стороны от точки ***0***. Отрицательные целые числа ***-1, -2, -3…*** определяются симметрично с противоположной стороны от положительных чисел, а дробные вставляются между ними. Произвольной точке ***A*** ставится в соответствие одно из этих чисел.

В двумерном случае положение точки на плоскости может быть определено её расстоянием до двух фиксированных перпендикулярных прямых – ***осей***. Эти понятия встречаются уже у Архимеда Сиракузского (его знаменитая фраза «дайте мне точку опоры, и я переверну весь мир» говорит об этом) и Аполлония Пергского, живших более двух тысяч лет назад, и даже у древних египтян.

Впервые идея о прямоугольных координатах (рис. 21, *а*) была систематизирована французами Пьером Ферма (1601 – 1665) и Рене Декартом (1596 – 1650). Однако в их формулировках расстояния могли быть только положительными. Значительную роль в математике сыграла важная идея, которая принадлежала сэру Исааку Ньютону (1642 – 1727), о том,



а *б*

Рис. 21.

что эти расстояния можно считать и отрицательными, Г. В. Лейбниц (1646 – 1716) первым назвал эти расстояния «координатами».

Для некоторых целей можно использовать неперпендикулярные оси, расстояния от точки ***0*** представляют собой параллелограмм (рис.21, *б*). Отрезки ***AM = 0B = x*** – абсцисса; ***BM = 0A = y*** – ордината точки ***M*** от двух осей координат ***0x*** и ***0y***. Ось ***x*** выражается уравнением ***y =0***, так как каждая точка оси ***x*** удовлетворяет этому уравнению. По аналогии для оси ***y***: ***x=0***.

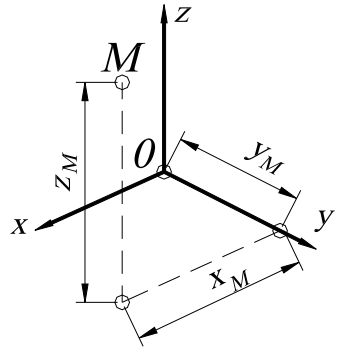


Рис. 22.

Систему координат в пространстве определяют три взаимно перпендикулярные плоскости, которые в своём пересечении дают три взаимно перпендикулярные оси ***x, y, z*** (z_M– аппликата) (рис. 22). Точка ***0*** во всех случаях называется началом координат.

2.2. ПОЛЯРНЫЕ КООРДИНАТЫ ТОЧКИ НА ПЛОСКОСТИ

Полярные координаты на плоскости есть расстояние ***0A = r*** от фиксированной точки ***0*** (полюса) и угол ***POM = φ*** между прямой ***0A*** и полярной осью ***0P***, где ***r*** - радиус-вектор, ***φ*** - полярный угол (рис. 23).

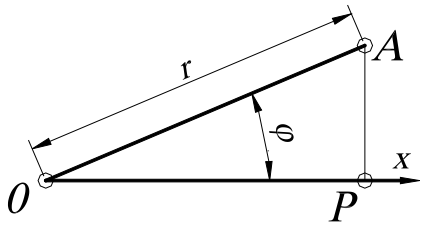


Рис. 23.

Ось ***0P*** можно отождествить с осью ***x*** прямоугольных декартовых координат. Тогда точка ***A*** имеет две координаты ***(r; φ)***. Иногда можно использовать и отрицательные значения ***r***, считая, что точка ***(r; φ)*** совпадает с точкой ***(-r;φ+180^0)***.

Если даны декартовы координаты, то можно перейти к полярным координатам, используя тригонометрические функции, а именно: координаты точек

x = r cos φ, y = r sin φ.

Полярные координаты особенно удобны для описания тех движений и преобразований подобия (центральная симметрия, симметрия относительно прямой, гомотетия и т. д.), которые имеют неподвижную точку. Начало координат в этом случае выбирают именно в этой точке. В пространстве аналогом полярных координат служат цилиндрические и сферические координаты.

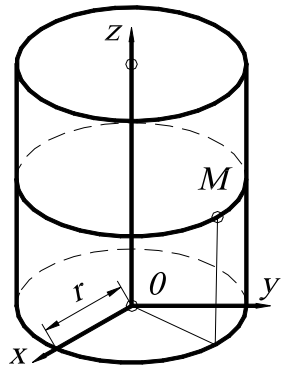


Рис. 24.

2.3. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Цилиндрические координаты точки ***M*** есть числа ***r, φ, z*** (рис. 24), связанные с декартовыми координатами ***x, y, z*** следующими уравнениями: ***x = r cos φ;***

y = r sin φ;

z = z.

2.4. СФЕРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Сферические координаты точки M есть три числа r, φ, θ, связанные с декартовыми координатами следующими уравнениями:

$$x = r\cos\varphi\cos\theta;$$
$$y = r\sin\varphi\cos\theta;$$
$$z = \sin\theta,$$

где r – радиус-вектор, равный $0M$ (рис. 25);

φ - угол между положительным направлением оси $0x$ и горизонтальной проекцией радиус-вектора $0M$ на плоскость $x0y$, взятый против часовой стрелки;

θ - угол между радиус-вектором $0M$ и горизонтальной проекцией его на плоскость $x0y$;

Угол $90^0 - \theta = \sigma$ называется зенитным углом. Сферические координаты применяются для определения географических координат на земной поверхности.

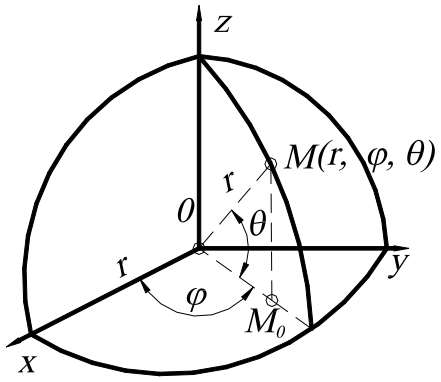


Рис. 25.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое независимые параметры?

2. Привести примеры одно- , двух-, трёх-, четырёхпараметрических многообразий.

3. Проверьте правильность следующих утверждений: 1) прямую в пространстве можно задать: а) точкой и параллельной ей прямой; б) точкой и парой пересекающихся прямых; 2) плоскость: а) тройкой точек; б) точкой и прямой; в) парой пересекающихся прямых; 3) сферу: а) центром и точкой; б) центром и касательной плоскостью; в) четвёркой некомпланарных точек; г) диаметром; 4) цилиндром вращения: а) осью и образующей; б) тройкой некомпланарных образующих.

4. Проверить корректность постановки следующей задачи. В пространстве даны плоскость ω и точки O_1 и O_2. Построить в плоскости ω точки A_1 и A_2 на расстоянии r_1 от O_1 и на расстоянии r_2 от O_2.

5. Определить размерность пересечения геометрических многообразий в различных пространствах: пересечение двух прямых в плоскости (пространстве), пересечение двух плоскостей в трёх- и четырёхмерном пространствах.

Глава 2
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. ЗАПУСК СИСТЕМЫ *AutoCAD*

Запуск ***AutoCAD*** осуществляется так же, как и любого другого приложения в **Windows**: при помощи ярлыка, размещённого на рабочем столе, или посредством меню (на панели задач щелкнуть на кнопке ***Start*** (Пуск), выбрать пункт ***Programs*** (Программы) и затем из выпавшего меню – ***AutoCAD 2005***).

После запуска ***AutoCAD***, в зависимости от его настройки выводится диалоговое окно ***Startup*** (Начало работы) (рис. 26) или рабочее окно ***AutoCAD*** (рис. 27) .

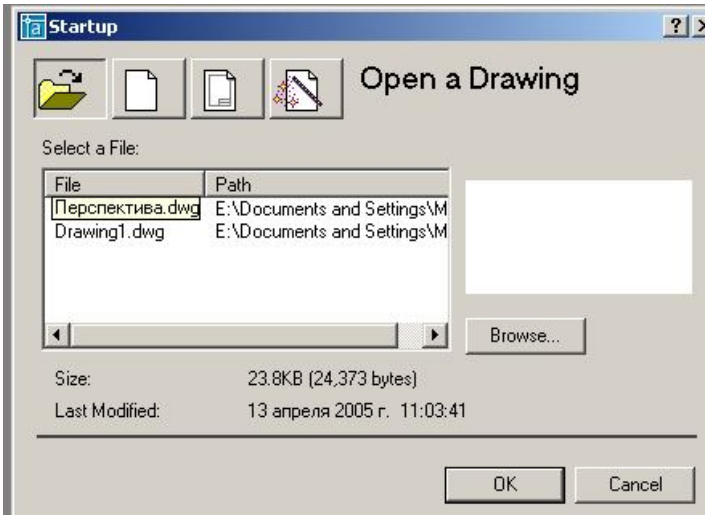


Рис. 26

В диалоговом окне ***Startup*** (Начало работы) предоставляют пользователю 4 кнопки:

1.  ***Open a Drawing*** (Открытие чертежа) для открытия ранее созданного чертежа.
2.  ***Start from Scratch*** (Без шаблона), то есть начать чертёж без предварительной настройки. При этом пользователю предлагается установить только единицы измерения – британские (футы и дюймы) или метрические.
3.  ***Use a Template*** (Использовать шаблон). При этом ***AutoCAD*** выводит список имеющихся шаблонов. Кроме этого пользователь может создать свои шаблоны с нужными ему настройками, например основную надпись и рамку формата.
4.  ***Use a Wizard*** (Вызов Мастера) для выполнения предварительной настройки. Мастер позволяет последовательно выполнить полную установку параметров рабочей среды ***AutoCAD***: установить единицы измерения длины (***Units***); единицы измерения углов (***Angle***); задать начало отсчёта угла (***Angle Measure***); положительное направление отсчета угла (***Angle Direction***); определить границы области рисунка (***Area***).

Диалоговое окно ***Startup*** (Начало работы) вызывается при каждой загрузке сеанса ***AutoCAD*** только один раз. В дальнейшем для создания рисунков в запущенном сеансе ***AutoCAD*** вызывается диалоговое окно ***Create New Drawing*** (Создание нового рисунка). Если после загрузки ***AutoCAD*** сразу открывается рабочее окно, то вышеописанные настройки можно выполнить при помощи команд UNITS и LIMITS (пункт меню ***Format***). Для открытия диалогового окна при запуске ***AutoCAD*** необходимо предварительно настроить, войдя в меню ***Format*** (Формат), выбрать вкладку ***System*** (Система) и в раскрывающемся списке ***Startup*** назначить пункт ***Show traditional startup dialog***, что соответствует выбору традиционного диалогового окна.

2. ВИД РАБОЧЕГО ОКНА *AutoCAD*

Рабочее окно системы ***AutoCAD*** содержит типичные для программ, работающих в Windows, элементы (панели инструментов, строка меню, линейки прокрутки). Кроме этого в рабочем окне располагаются две основные области ***AutoCAD*** – зона чертежа и командная строка, в которых происходит основной диалог пользователя с системой (см. рис. 27).

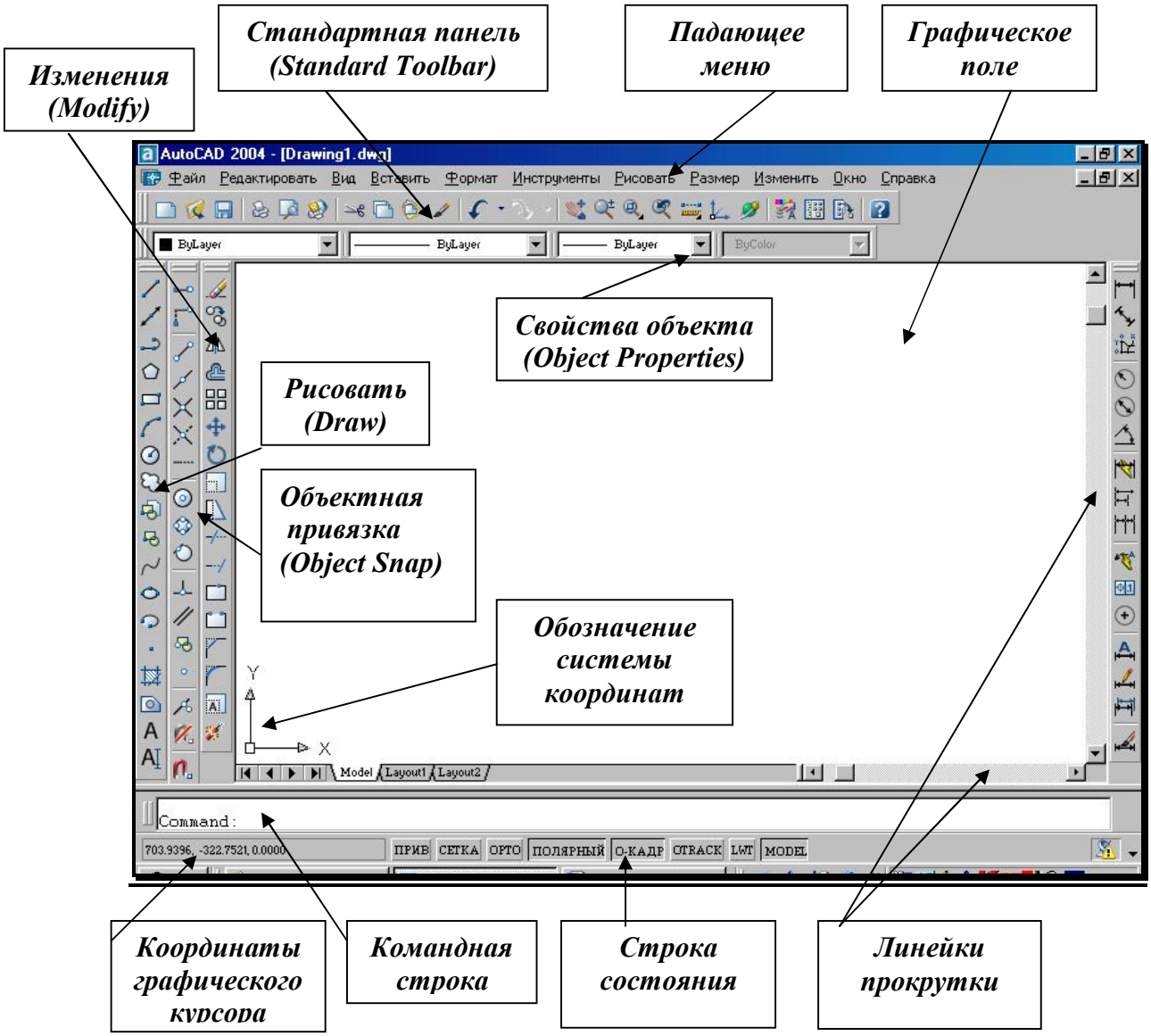


Рис. 27.

3. ПАДАЮЩЕЕ МЕНЮ

Падающее меню (рис. 28) содержит названия меню, в которых по функциональному признаку сгруппированы часто используемые команды ***AutoCAD***. Команды в меню могут располагаться на нескольких уровнях (отличительный признак – «стрелка-треугольник» в конце строки с именем команды). Если за именем команды идёт многоточие, то это означает, что параметры команды определяются в диалоговом окне.

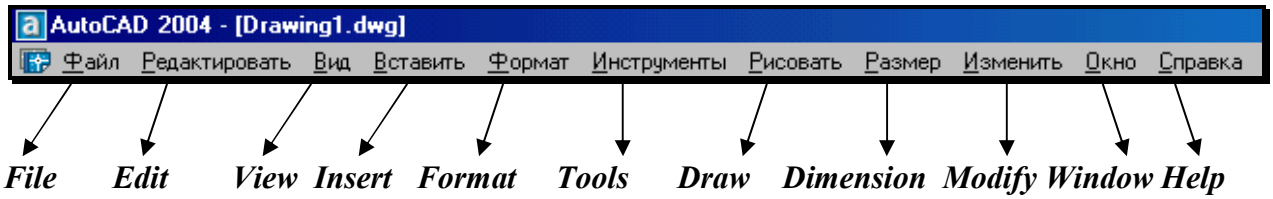


Рис. 28.

Строка падающих меню содержит следующие пункты:

- **File** (Файл) – меню работы с файлами: открытие, сохранение, печать, экспорт файлов в другие форматы и т. д.;
- **Edit** (Правка) – меню редактирования частей графического поля Рабочего стола Wndows;
- **View** (Вид) – команды управления изображением на экране монитора, установки точки зрения, удаления невидимых линий, закраски, тонирования, позволяет устанавливать необходимые панели инструментов;
- **Insert** (Вставка) – осуществляет вставку блоков, внешних объектов, объектов других приложений;
- **Format** (Формат) – обеспечивает работу со слоями, цветом, типами линий, управление стилем текста, размеров, видом маркера точки, стилем мультилинии; установку единиц измерения, границ чертежа;
- **Tools** (Сервис) – содержит средства управления системой, экраном пользователя, включает установку параметров черчения и привязок с помощью диалоговых окон; обеспечивает работу с пользовательской системой координат;
- **Draw** (Рисование) – содержит команды рисования;
- **Dimension** (Размеры) – включает команды простановки размеров и управления параметрами размеров;
- **Modify** (Редактирование) – включает команды редактирования элементов чертежа;
- **Window** (Окно) – содержит средства управления окнами при работе в многооконном режиме;
- **Help** (Справка) – содержит средства справочной системы ***AutoCAD***.

4. СТРОКА СОСТОЯНИЯ

Строка состояния (рис. 29) находится в нижней части экрана, под командной строкой и содержит следующие кнопки.



Рис. 29.

- **SNAP** (ПРИВ) – Шаговая привязка (***Snap Mode***) – включение и выключение дискретного перемещения курсора с заданным шагом (**F9**);
- **GRID** (СЕТКА) – Отображение сетки (***Grid Display***) – включение и выключение сетки (**F7**);
- **ORTHO** (ОРТО) – Режим «ОРТО» (***Ortho Mode***) – включение и выключение ортогонального режима, параллельного осям ***x*** и ***y*** (**F8**);
- **POLAR** (ПОЛЯРНЫЙ) – Полярное отслеживание (***Polar Tracking***) – включение и выключение режима полярного отслеживания (**F10**);

- **OSNAP** (О-КАДР) – Объектная привязка (***Object Snap***) - включение и выключение режимов объектной привязки (**F3**);
- **OTRACK** (ОТС – ПРИВ) – Отслеживание при объектной привязке (***Object Snap Tracking***) - включение и выключение режима отслеживания при объектной привязке (**F11**);
- **LWT** (ВЕС) – Отображение линий в соответствии с весами (***Show/Hide Lineweight***) – включение и выключение режима отображения линий в соответствии с их толщиной;
- **MODEL/PAPER** (МОДЕЛЬ/ЛИСТ) – Пространство модели или пространство листа (***Model or Paper space***) – переключение из пространства модели в пространство листа.

5. ВВОД КОМАНД

Вводить команды в ***AutoCAD*** можно с клавиатуры, из разнообразных меню или с панелей инструментов. Для ввода команды с клавиатуры необходимо напечатать имя команды в командной строке и нажать клавишу ENTER или SPACE. Ввод команд из меню представляется более удобным и наглядным. Чтобы ввести команду, необходимо выбрать нужную команду из списка меню или панели инструментов и нажать левую кнопку мыши. Для повторения последней команды достаточно нажать клавишу ENTER или SPACE. Выполнение команды можно прервать на любой стадии диалога, нажав клавишу ESC.

6. ПАНЕЛИ ИНСТРУМЕНТОВ

Панели инструментов являются частью интерфейса ***AutoCAD***. Они состоят из кнопок (пиктограмм), предназначенных для быстрого ввода наиболее часто используемых команд. При загрузке ***AutoCAD*** по умолчанию выводятся четыре панели: 1) ***Standard Toolbar*** (Стандартная панель инструментов); 2) ***Object Properties*** (Свойства объектов); 3) ***Draw*** (Рисовать); 4) ***Modify*** (Изменить).

Остальные панели инструментов можно вывести на экран через меню ***View*** (Вид)→***Toolbars*** (Панели). *Удобно выбирать требующуюся панель инструментов нажатием правой кнопки мыши, находящейся на любой пиктограмме панелей инструментов*. Далее рассматриваются наиболее часто используемые панели инструментов.

7. СТАНДАРТНАЯ ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ

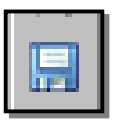
(*Standard Toolbar*)



– ***New*** (Новый) – создание нового чертежа;



– ***Open*** (Открыть) – загрузка существующего файла;



– ***Save*** (Сохранить) – сохранение текущего файла;



– ***Print Preview*** (Предварительный просмотр) – предварительный просмотр чертежа перед выводом на печать;



– ***Plot*** (Печать) – вывод чертежа на плоттер или принтер;



– ***Find and Replace*** (Поиск и замена) – поиск, замена, выбор и показ крупным планом текста на рисунке;



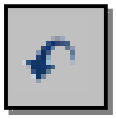
– ***Cut to Clipboard*** (Вырезать) – копирование объектов в буфер обмена с удалением их из рисунка.



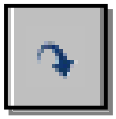
– ***Copy to Clipboard*** (Копировать) – копирование выбранных элементов чертежа в буфер Windows;



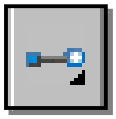
– ***Paste from Clipboard*** (Вставить) – вставка данных из буфера Windows;



– ***Undo*** (Отменить) – отмена действия последней команды;



– ***Redo*** (Повторить) – восстановление только что отменённого действия;



– Подменю ***Object Snap*** (Объектная привязка) – раскрывающийся набор инструментов для выбора объектной привязки;



– Подменю ***UCS*** (ПСК) – раскрывающийся набор инструментов для определения новой пользовательской системы координат;



– Подменю ***Zoom*** (Зумирование) – раскрывающийся набор инструментов для задания различных способов увеличения и уменьшения видимого размера объектов на текущем видовом экране;



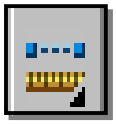
– ***Zoom Previous*** (Показать Предыдущий) – возврат к показу предыдущего вида;



– ***Pan Realtime*** (Панорамирование в реальном времени) – перемещение изображения на текущем видовом экране в режиме реального времени;



– ***Zoom Realtime*** (Зумирование в реальном времени) – увеличение или уменьшение видимого размера объекта на текущем видовом экране;



– Подменю ***Inquiry*** (Сведения) – раскрывающийся список инструментов:

- - ***Distance*** (Расстояние) – определение расстояния и угла между точками;
- - ***Locate Point*** (Координаты) – определение координат указанной точки;
- - ***Area*** (Площадь) – вычисление площади и периметра объекта;
- - ***Mass Properties*** (Масса) – вычисление массоинерционных характеристик;
- - ***List*** (Список***)*** – вывод информации о примитиве;



– ***Display Viewports Dialog*** (Диалоговое окно видовых экранов) – вызов диалогового окна ***Viewports*** (Видовые экраны);



– ***Named Views*** (Именованные виды) – вызов диалогового окна для работы с видами и выбора аксонометрических проекций;



– ***3D Orbit*** (3М Орбита) – интерактивный просмотр объектов в трёхмерном пространстве; позволяет, изменяя направление взгляда на модель, рассмотреть её с любой точки зрения;



– ***Properties*** (Свойства) – вызов окна для управления свойствами выбранных объектов.

8. ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ *Object Properties* *(Свойства объекта)*

Панель инструментов ***Object Properties*** (рис.30) облегчает работу со слоями и типами линий и размещается сверху от рабочей зоны чертежа.

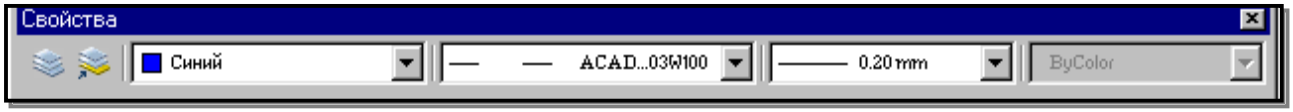
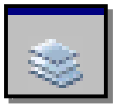


Рис. 30.

Построенные объекты всегда размещаются на определённом слое. Слой – это средство для группировки данных, подобное наложению друг на друга прозрачных калек с фрагментами чертежа («слоёный пирог»). Слои могут быть использованы по умолчанию, а также заданы и именованы пользователем (имя слоя может содержать до 255 символов). Слой может отображаться на экране монитора отдельно или в комбинации с другими слоями, он может быть включён, выключен или заблокирован для редактирования. С каждым слоем связаны определённый цвет, тип и вес (толщина) линии, стиль печати.



– ***Layers*** (Слои) – вызов диалогового окна установки параметров слоёв ***Layer Properties Manager*** (Диспетчер Свойств Слоя), также может загружаться из падающего меню ***Format*** (Формат)→***Layer…***(Слой).



– ***Make Object's Layers Current*** (Сделать слой объекта текущим) – установка текущего слоя в соответствии со слоем выбранного объекта.

При создании нового рисунка автоматически создаётся слой с именем ***0***. Слой ***0*** не может быть удалён или переименован. С помощью кнопки ***New*** (Новый) диалогового окна ***Layer Properties Manager*** (Диспетчер Свойств Слоя) создается новый слой (рис. 31), в котором можно задать другой цвет объекта, тип линии и вес (толщину) линии. После щелчка мышью по этой кнопке в списке слоёв появляется новый слой с временным именем.

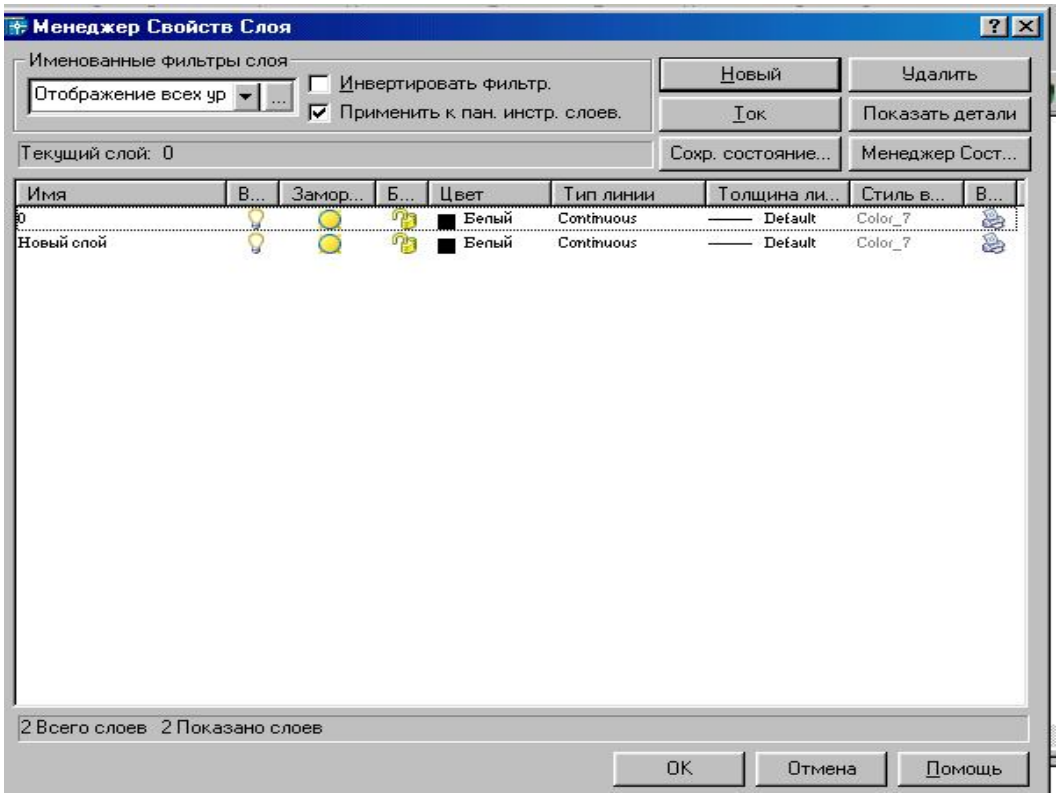


Рис. 31.

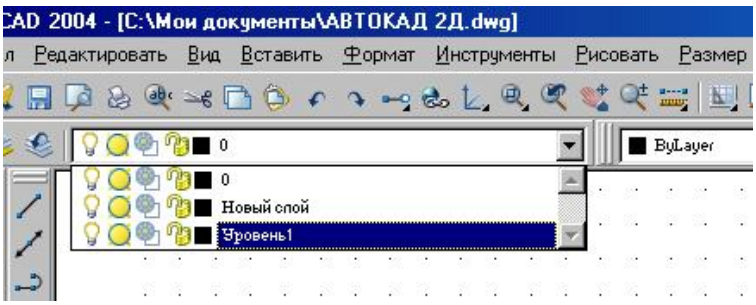


Рис. 32.

Все новые слои именуются в порядке их создания. Чтобы присвоить слою другое имя, необходимо набрать его с клавиатуры в поле временного имени и нажать Enter. Для переименования имеющегося слоя необходимо войти в поле имени слоя двойным щелчком мыши. Для того, чтобы сделать слой текущим, необходимо либо установить курсор мыши на нужный слой и щелкнуть мышью по кнопке ***Current*** (Текущий), либо выбрать его из раскрывающегося списка управления слоями в строке свойств объектов (рис. 32).

Управление видимостью слоя.

AutoCAD не отображает на экране объекты, расположенные на невидимых слоях, и не выводит их на плоттер. Если при работе с деталями рисунка на одном или на нескольких слоях рисунок слишком загромождён, допускается отключить или заморозить неиспользуемые слои.

Для запрещения вывода на печать объектов определённых слоёв, например слоёв для вспомогательных линий, можно оставить эти слои видимыми, но отключить их вывод на печать.

Выбор способа отключения видимости слоёв зависит от характера использования слоёв и от сложности рисунка. Замораживание слоёв лучше осуществлять в тех случаях, когда видимость слоя можно отключить на длительное время. В тех случаях, когда требуется частое изменение видимости слоев, лучше использовать отключение слоёв, а не

замораживание. На печать могут выводиться только объекты включенных и размороженных слоёв. Видимый слой печатается, если не отключен его вывод на печать.

Редактировать объекты на блокированных слоях нельзя. Однако они остаются видимыми, если слой включен и разморожен. Можно установить блокированный слой текущим и создавать на нем объёкты.

Для управления слоями используются следующие пиктограммы, которые активизируются при помощи щелчка мышью на соответствующей пиктограмме.

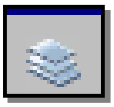


– Раскрывающийся список управления слоями ***Layer*** (Слой) содержит пиктограммы состояний слоя

Название слоя
Цвет слоя
Управление выводом содержимого слоя на печать
Блокирование/Разблокирование слоя
Замораживание/Размораживание слоя на всех видовых экранах
Включение/Отключение слоя

Выполнить упражнение № 1.

Создать слой ШТРИХОВЫЕ ЛИНИИ ***№ 1***



LAYER (Слои)

Падающее меню FORMAT (Формат) → LAYER (Слои)

В диалоговом окне *Layer Properties Manager* (Менеджер свойств слоя) выбрать кнопку New (Новый) и в появившемся поле нового слоя ввести имя ШТРИХОВЫЕ ЛИНИИ.

В области *Line type* (Тип линии) выбрать (щелчком мыши) Continuous.

В диалоговом окне *Select Line type* (Выбор типа линии) выбрать кнопку *Load…* (Загрузить).

В диалоговом окне *Load or Line type* (Загрузка или Перезагрузка типов линий) выбрать *Hidden 2*

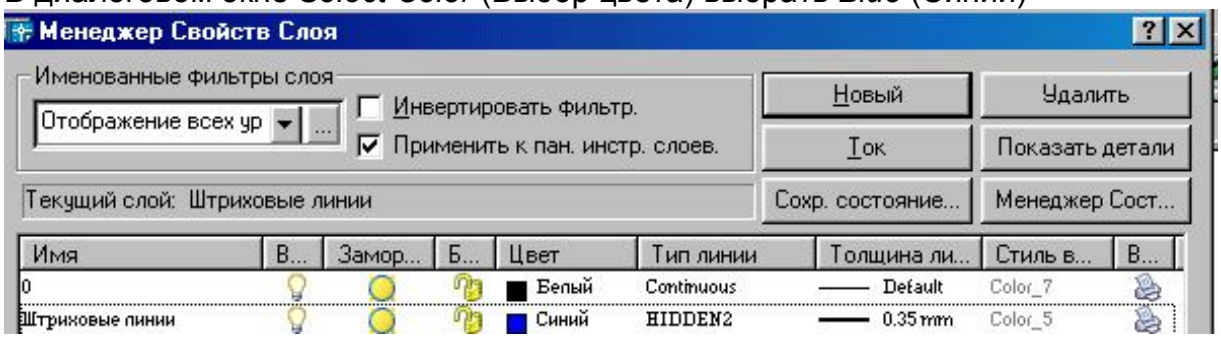
В диалоговом окне *Layer Properties Manager* (Менеджер свойств слоя) установить *Hidden 2*.

В области *Lineweight* (Толщина линии) выбрать (щелчком мыши) *Default*.

В диалоговом окне *Lineweight* выбрать 0,35.

В области *Color* (Цвет линии) выбрать (щелчком мыши) *White* (Белый).

В диалоговом окне *Select Color* (Выбор цвета) выбрать *Blue* (Синий)



9. ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИМИТИВЫ

Примитив – это заранее определённый основной геометрический элемент, при помощи которого строятся более сложные модели. Система ***AutoCAD*** использует обширный набор

примитивов: точки, отрезки, круги, дуги, полилинии (непрерывная последовательность отрезков и дуг), мультилинии (ломаная линия, сегменты которой состоят из нескольких параллельных отрезков), сплайны (гладкая кривая, проходящая через заданный набор точек), тексты, блоки (именованный объект, сформированный из нескольких примитивов), эллипсы, многоугольники, фигуры (часть плоскости, ограниченная тремя или четырьмя отрезками) и т. д. Общими свойствами, которыми обладают все примитивы, являются принадлежность к слою, цвет и тип линии. Многие примитивы обладают также толщиной. Отдельные примитивы (текст, блок) имеют специальные свойства (угол наклона, точка вставки и др.).

10. ВВОД КООРДИНАТ ТОЧКИ

Ввод координат в **AutoCAD** осуществляется двумя способами:

1. Непосредственно с клавиатуры, путём задания численных значений в командной строке.
2. При помощи графического курсора, который перемещается по экрану мышью или клавишами управления курсором. Ввод координаты осуществляется щелчком левой кнопки мыши.

При этом в строке состояния, расположенной в нижней части Рабочего стола, происходит отображение текущих значений координат. Для удобства ввода координат можно использовать следующие режимы, которые устанавливаются в строке состояния:

- ***ORTHO*** (Орто) – режим, когда изменение происходит только по осям ***x*** или ***y***.
- ***SNAP*** (Шаговая привязка) – привязка к узлам невидимой сетки, определённой с некоторым шагом по ***x*** и ***y***.

КООРДИНАТЫ ТОЧКИ В ДВУМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В двумерном пространстве точка определяется в плоскости ***xOy***, которая называется плоскостью построений. Точка может быть задана *абсолютными* и *относительными координатами*. Ввод значений *абсолютных координат* в системе ***AutoCAD*** может осуществляться в следующих форматах:

- *Прямоугольные (декартовы) координаты*: **…point: x,y**.

В случае использования такого формата необходимо на запрос системы о местоположении точки ввести с клавиатуры численное значение координаты ***x***, затем через запятую – значение координаты ***y***, а также направление (+ или -).

- *Полярные координаты***: …point: ρ<φ**,

где ρ - длина вектора (расстояние), соединяющего точку с началом координат,

φ - угол наклона этого вектора относительно предыдущей точки (< - специальный символ, знак «меньше»). За положительное направление изменения угла принято вращение против часовой стрелки от положительного направления оси ***x***.

Относительные координаты не ссылаются на точку начала системы отсчёта. *Относительные координаты* – это смещение по осям ***x*** и ***y*** от предыдущей введённой точки.

- *Прямоугольные координаты*: **…point: @Δx,Δy**.

Для ввода относительных прямоугольных координат точек необходимо сначала ввести специальный символ **@**, который вводится нажатием комбинации клавиш ***SHIFT+2***, а затем приращение по оси абсцисс ***x***, запятую и приращение по оси ординат ***y***.

- *Полярные координаты*: **…point: @ρ<φ**.

В системе ***AutoCAD*** допускается использовать *прямую запись расстояния*, что особенно удобно для быстрого ввода длины линии. Для ввода координат точки, отстоящей на заданное расстояние и в заданном направлении, необходимо вначале переместить графический курсор в желаемом направлении, а затем напечатать в командной строке требуемое расстояние: **point: 85**.

11. ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ *Draw* (*Рисовать*)

Панель инструментов ***Draw*** (рис. 33) содержит кнопки для вызова команд вычерчивания, наиболее часто используемых графических примитивов.

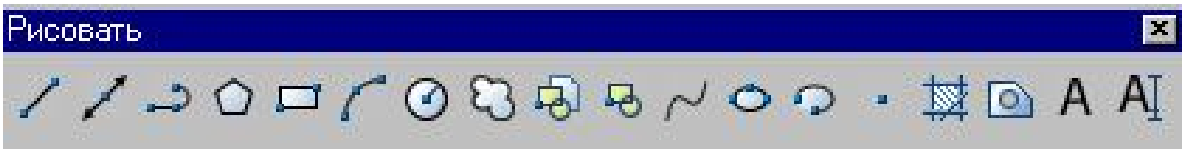


Рис. 33.

Панель инструментов ***Draw*** (Рисовать), показанная на рис. 33, содержит кнопки (пиктограммы) для вызова команд вычерчивания наиболее часто используемых графических примитивов. Для ввода команды достаточно щелкнуть мышью по этой кнопке. Панель инструментов разделена на следующие группы:

- команды для вычерчивания отрезков прямых линий различного типа и специальных линий;
- команды для вычерчивания линий, содержащих прямолинейные и дуговые сегменты, а также прямоугольников и правильных многоугольников;
- команды для вычерчивания рациональных B-сплайнов, окружностей, эллипсов и их дуг;
- команды создания блоков и точек;
- команды нанесения штриховок и создание замкнутых контуров и областей;
- команды нанесения текстов.

12. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ

Графические примитивы создаются командами рисования, которые вызываются из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) или панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Необходимо отметить, что одни и те же элементы чертежа могут быть получены с помощью различных команд.

При построении чертежей требуется их редактирование. *Прежде чем редактировать объекты чертежа, необходимо выбрать, то есть указать системе набор примитивов, с которыми предполагается дальнейшая работа. Выбранные примитивы изображаются на экране монитора пунктирными линиями, что служит визуальным подтверждением их выбора.*

Здесь разрешены следующие способы выбора объектов: указание объекта «прицелом» графического курсора; выбор с помощью предполагаемой рамки (для этого графический курсор устанавливают над частью чертежа, нажимают левую кнопку мыши и «растягивают» рамку по диагонали, указывая вторым щелчком мыши размер рамки). Если диагональ рамки определяется слева направо, то выбираются объекты, полностью разместившиеся в окне выбора. Если же диагональ рамки определяется справа налево, то выбираются объекты не только полностью разместившиеся в окне рамки, но и пересекающие рамку.

Иногда невозможно выбрать объекты без случайного указания другого близлежащего объекта. В этом случае нужно указать примитив «прицелом» курсора и щелкнуть левой кнопкой мыши при нажатой клавише *Shift*. Для удаления объектов необходимо выбрать объект и нажать клавишу *Delete*.

12.1. ТОЧКА



Команда ***Point*** (Точка) – формирование точки, вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Point*** (Точка) или щелчком мыши по пиктограмме ***Point*** (Точка) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Точка определяется указанием её координат или указанием курсора.



Рис. 34.

Форма точки задается с помощью системной переменной PDMODE, а её размер – с помощью переменной PDSIZE. Значения этих переменных пользователь устанавливает в диалоговом окне ***Point Style*** (Стиль точки), которое вызывается из падающего меню ***Format*** (Формат) → ***Point Style*** (Стиль точки) (рис. 34). В этом диалоговом окне показано 16 образцов значков. Для выбора любого из них нужно щелкнуть мышью на любом из них.

Размер маркера точки может определяться в процентах от размера экрана монитора или в абсолютных единицах. Чтобы настроить размер точки, необходимо выбрать один из переключателей и вписать с клавиатуры нужное значение размера точки.

12.2. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ

Линии в ***AutoCAD*** являются базовым примитивом и могут быть различных видов: одиночные отрезки, ломаные (с сопряжениями дугами и без них), пучки параллельных линий (мультилинии), сплайны, а также эскизные линии.

12.2.1. ОТРЕЗОК



Команда ***Line*** (Отрезок) – формирование отрезка – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Line*** (Отрезок) или щелчком мыши по пиктограмме ***Line*** (Отрезок) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

Отрезки могут быть одиночными или объединёнными в ломаную линию. *При этом каждый отрезок ломаной линии является отдельным примитивом*; если же необходимо, чтобы набор линейных сегментов был единым объектом (областью), лучше применять полилинии.

При построении непрерывной ломаной линии конец предыдущего звена ломаной является началом следующего. Завершение построения ломаной линии осуществляется после нажатия клавиши ***Enter*** (условное обозначение – ↵). Если же ломаная линия является замкнутой, то в командной строке нужно с клавиатуры набрать слово ***Close*** (Закрыть) или начальную букву этого слова ***C***.

Выполнить упражнения № 2, 3, 4 (см. «Ввод координат точки»).

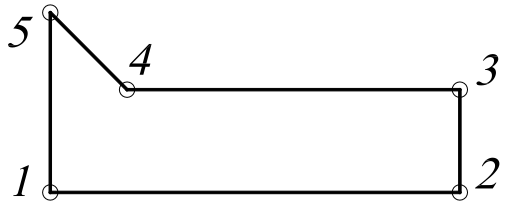
Построить многоугольник, задавая точки в абсолютных координатах № 2

Line Падающее меню ***Draw → Line***

Line Specify first point:	20, 20	точка 1↵
Specify next point or [Undo]:	100, 20	точка 2↵
Specify next point or [Undo]:	100, 40	точка 3↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	35, 40	точка 4↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	20, 55	точка 5↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	Close	замкнуть ↵

Undo

Отмена последнего действия

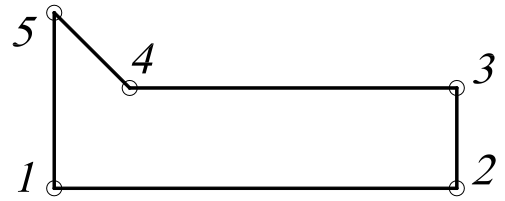


Построить многоугольник, задавая точки в относительных координатах № 3

Line Падающее меню ***Draw → Line***

Line Specify first point:	20, 20	точка 1↵
Specify next point or [Undo]:	@ 80, 0	точка 2↵
Specify next point or [Undo]:	@ 0, 20	точка 3↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	@ -65, 0	точка 4↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	@ -15, 15	точка 5↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	C	замкнуть

@ - комбинация клавиш Shift + 2

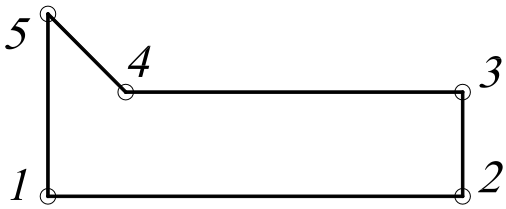


Построить многоугольник, задавая точки в полярных координатах № 4

Line Падающее меню ***Draw → Line***

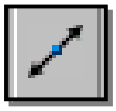
Line Specify first point:	20, 20	точка 1↵
Specify next point or [Undo]:	@ 80 < 0	точка 2↵
Specify next point or [Undo]:	@ 20 < 90	точка 3↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	@ 65 < 180	точка 4↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	@ 21 < 135	точка 5↵
Specify next point or [Close/ Undo]:	C	замкнуть

@ - комбинация клавиш Shift + 2



12.2.2. ПРЯМАЯ И ЛУЧ

В ***AutoCAD*** допускается построение линий, не имеющих конца в одном или в обоих направлениях. Такие линии называются соответственно *лучами* или *прямыми*. Их можно использовать в качестве вспомогательных линий при построении объектов, и удобнее строить их в отдельных слоях.



Команда ***XLine*** (Прямая) – формирование прямой – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Construction line*** (Конструкционная прямая) или щелчком мыши по пиктограмме ***Construction line*** (Конструкционная прямая) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Команда ***XLine*** (Прямая) применяется в двумерном и трехмерном черчении.

Опции команды ***XLine*** (Конструкционная прямая):

- ***Hor*** (Гор) – для построения горизонтальной вспомогательной линии нужно с клавиатуры набрать h \Enter, а затем задать точку любым из способов, через которую должна пройти эта линия;
- ***Ver*** (Вер) – для построения вертикальной вспомогательной линии нужно с клавиатуры набрать v \Enter, а затем задать точку любым из способов, через которую должна пройти эта линия;
- ***Ang*** (Угол) – для построения наклонной вспомогательной прямой линии нужно ввести с клавиатуры a \Enter. Далее AutoCAD выведет дополнительные запросы:
  Enter angle of xline (0) or [Reference] \ Задайте угол наклона или…
  Specify through point \ Задайте точку, через которую пройдёт линия:

После ответа на эти запросы система строит вспомогательную линию через указанную точку под заданным углом. Задавая следующие точки, можно строить пучок линий, параллельных первой построенной линии. Если в ответ на запрос - Specify through point \ Задайте точку, через которую пройдёт линия:…- нажать клавишу Enter, то это действие приведёт к завершению работы с командой.

- ***Bisect*** (Биссект) –эта опция позволяет построить биссектрису угла по его вершине и двум точкам, расположенным на сторонах угла;
- ***Offset*** (Смещение) – по смещению от заданной линии (следует задать величину смещения, выбрать базовую линию и указать, с какой стороны должна проходить прямая).



Команда ***Ray*** (Луч) – построение луча – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Ray*** (Луч) или щелчком мыши по пиктограмме ***Ray*** (Луч) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

Эта команда применяется при выполнении вспомогательных построений, которые используются как база при вычерчивании контурных линий. В отличие от прямых, бесконечных с обеих сторон, луч не имеет конца только в одном направлении, что позволяет снизить загромождённость рисунка.

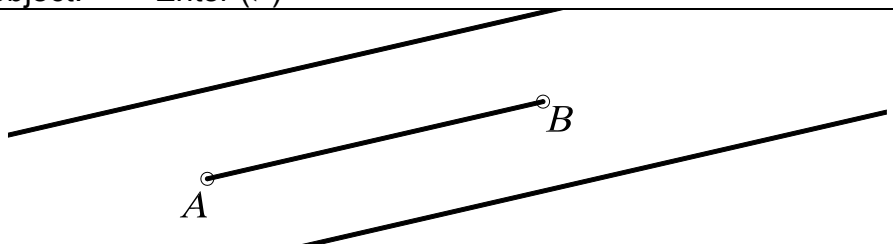
Выполнить упражнение № 5.

Построить вспомогательную прямую,
с величиной смещения 20 от заданного отрезка AB ***№ 5***

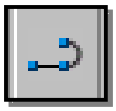


XLine Падающее меню ***Draw → XLine***

XLine Specify a point or [Hor/Ver/Ang/Bisect/Offset]: offset задать опцию - смещение
Specify offset distance or [Through] < Through>: 20 задать расстояние 20 или <по умолчанию>
Select a line object: выбрать линейный объект, указав курсором и щелкнув мышью
Specify side to offset: задать сторону смещения, щелкнув выше отрезка AB
Select a line object: выбрать линейный объект, указав курсором и щелкнув мышью
Specify side to offset: задать сторону смещения, щелкнув ниже отрезка AB
Select a line object: Enter (↵)



12.2.3. ПОЛИЛИНИЯ



Команда ***PLine*** (ПЛиния) – построение полилинии – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Polyline*** (Полилиния) или щелчком мыши по пиктограмме ***Polyline*** (Полилиния) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

Команда ***PLine*** (ПЛиния) служит для вычерчивания линии заданной толщины, состоящей из непрерывной последовательности отрезков прямых линий и дуг окружностей, и обрабатывается системой как графический примитив. Разрешено многократное переключение между режимом вычерчивания отрезков прямых и режимом вычерчивания дуг окружностей. Каждый режим имеет собственный набор параметров, который повторяется после вычерчивания каждого сегмента. По умолчанию эта команда использует режим вычерчивания отрезков прямых линий. При вычерчивании дуги окружности на экране монитора последовательно визуализируются её промежуточные положения.

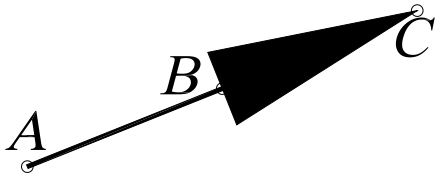
После вызова команды система выдает запрос о местоположении начальной точки. После ввода координат (с клавиатуры или с помощью графического курсора) появляется сообщение о текущей толщине линии Current line-width is 0.0000 (Текущая ширина линии равна 0.0000). Затем появляется список параметров команды:

- ***Arc*** (Дуга) – переход в режим дуг;
- ***Close*** (Замкнуть) – замыкает полилинию отрезком;
- ***Halfwidth*** (Полуширина) – позволяет задать полуширину, то есть расстояние от осевой линии широкого сегмента до края;
- ***Length*** (Длина) – длина сегмента, созданного как продолжение предыдущего в том же направлении;
- ***Undo*** (Отменить) – отменяет последний созданный сегмент;
- ***Width*** (Ширина) – позволяет задать ширину последующего сегмента.

Опции команды ***PLine*** (ПЛиния) в режиме дуг:

- ***Angle*** (Угол) – ввести центральный угол. По умолчанию дуга вычерчивается против часовой стрелки. Если требуется построить дугу по часовой стрелке, необходимо задать отрицательное значение угла;
- ***CEnter*** (Центр) – указать центр дуги;
- ***Close*** (Замкнуть) – замкнуть дугой;
- ***Direction*** (Направление) – задать направление касательной;
- ***Halfwidth*** (Полуширина) – определить полуширину полилинии;
- ***Line*** (Линейный) – переход в режим отрезков;
- ***Radius*** (Радиус) – ввести радиус дуги;
- ***Second pt*** (Вторая) – вторая точка дуги по трём точкам. Если дуга не является сегментом полилинии, то она начинается в конечной точке предыдущего сегмента и по умолчанию проводится по касательной к нему;
- ***Undo*** (Отменить) – отменить последнюю точку;
- ***Width*** (Ширина) – определить ширину полилинии.

Выполнить упражнения № 6, 7, 8, 9.

Построить полилинию с переменной толщиной	***№ 6***
PLine Падающее меню ***Draw → Polyline*** Specify start point: 90,50 начальная точка A Current line-width is 0.0000 (ширина полилинии по умолчанию) Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: w ширина полилинии Specify starting width <0.0000>: 1 стартовая ширина Specify ending width <1.0000>: 1 конечная ширина Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 140, 70 точка B Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: w ширина полилинии Specify starting width <1.0000>: 20 стартовая ширина Specify ending width <20.0000>: 0 конечная ширина Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 190, 90 точка C Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: Enter	
	

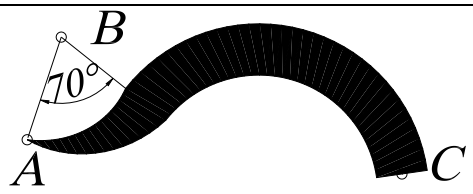
Многократное применение параметра Undo приводит к последовательному уничтожению сегментов полилинии и соответствующему переключению режимов работы команды.

Построить полилинию в режиме дуг *№ 7*



PLine Падающее меню ***Draw*** → ***Polyline***

Specify start point: 90,50 начальная точка A
Current line-width is 0.0000 (ширина полилинии по умолчанию)
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: w ширина полилинии
Specify starting width <0.0000>: 0 стартовая ширина
Specify ending width <0.0000>: 15 конечная ширина
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: Arc режим дуг
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: Ang задать углом
Specify included angle: 70 величина угла
Specify endpoint of arc or [Center/Radius]: Cen задать центр
Specify center point of arc: 100, 80 точка B
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: 200,40 точка C
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: Enter

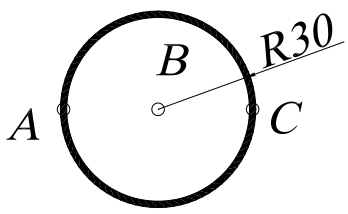


Построить окружность командой полилиния *№ 8*



PLine Падающее меню ***Draw*** → ***Polyline***

Specify start point: 90,50 начальная точка A
Current line-width is 0.0000 (ширина полилинии по умолчанию)
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: w ширина полилинии
Specify starting width <0.0000>: 2 стартовая ширина
Specify ending width <0.0000>: 2 конечная ширина
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: Arc режим дуг
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: CE задать центром
Specify center point of arc: 120, 50 точка B
Specify endpoint of arc or [Angle/Length]: @150, 0 точка C
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: CL замкнуть

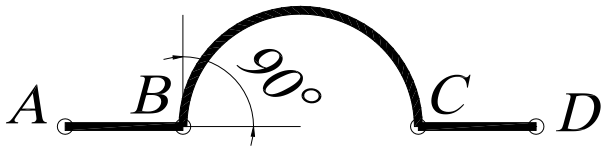


Построить полилинию с помощью направления	*№ 9*



PLine Падающее меню ***Draw*** → ***Polyline***

Specify start point: 90,50 начальная точка A
Current line-width is 0.0000 (ширина полилинии по умолчанию)
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: w ширина полилинии
Specify starting width <0.0000>: 2 стартовая ширина
Specify ending width <0.0000>: 2 конечная ширина
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 120 ,50 точка B
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: Arc режим дуг
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/Direction/…/Second pt/Undo/Width]: Dir задать направлением
Specify the tangent direction for the start point of arc: 90 направление от точки A
Specify endpoint of the arc:180, 50 точка C
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Line/Radius/Second pt/Undo/Width]: Line режим линий
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 210 ,50 точка D
Specify endpoint of arc or
[Angle/CEnter/CLose/…/Second pt/Undo/Width]: Enter



12.2.4. СПЛАЙН



Команда ***Spline*** (Сплайн) – построение сплайна – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Spline*** (Сплайн) или щелчком мыши по пиктограмме ***Spline*** (Сплайн) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

Система ***AutoCAD*** вычерчивает неоднородные рациональные B-сплайны (NURBS-кривые). Сплайны могут быть как двумерными, так и трёхмерными объектами, которые строятся на основе некоторого множества точек.

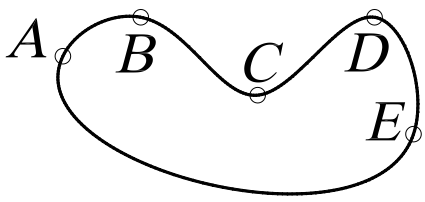
Выполнить упражнение № 10.

Построить сплайн	*№ 10*



Spline Падающее меню ***Draw*** → ***Spline***

Specify first point or [Object]: 90,50 начальная точка A
Specify start point: 110,60 точка B
Specify next point or [Close/Fit tolerance]<start tangent>: 140,40 точка C
Specify next point or [Close/Fit tolerance]<start tangent>: 170,60 точка D
Specify next point or [Close/Fit tolerance]<start tangent>: 180,30 точка E
Specify next point or [Close/Fit tolerance]<start tangent>: Close замкнуть
Specify tangent: Enter



Замечания:

1. Выбор параметра Object в первом основном запросе системы позволяет преобразовать существующие сглаженные сплайном полилинии в правильный сплайн. После ввода этого параметра следует указать существующую полилинию, сглаженную сплайном.
2. Сплайн обрабатывается системой как единый объект.
3. Толщина линии не задается и соответствует толщине, установленной для текущего слоя.
4. Параметр Close можно использовать, если предварительно вычерчено не менее двух сегментов.
5. Параметр Fit tolerance используется, если необходимо задать, насколько близко к введенным точкам должен проходить сплайн. Величина допуска сглаживания выражается в единицах измерения текущего чертежа. По умолчанию принято значение допуска 0, при котором сплайн проходит точно по данным точкам.
6. Параметр <start tangent> (определить касательную к сплайну) задается по умолчанию (скобки вида < > определяют параметр по умолчанию). Для выбора принятого по умолчанию направления касательной следует нажать клавишу Enter или, перемещая точку с помощью курсора, определяющую направление касательной, задать форму кривой.

12.3. ПОСТРОЕНИЕ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

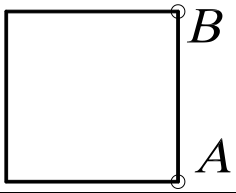
12.3.1. МНОГОУГОЛЬНИК

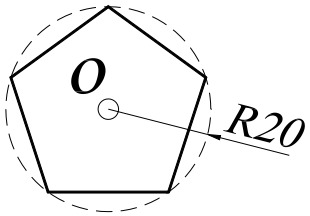


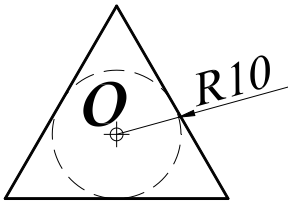
– Команда ***Poligon*** (Многоугольник) – построение правильного многоугольника с числом сторон от 3 до 1024 – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Poligon*** (Многоугольник) или щелчком мыши по пиктограмме ***Poligon*** (Многоугольник) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

- ***Edge*** (Сторона) – задание длины одной стороны;
- ***Inscribed in circle*** (Вписанный в окружность) – определяет способ построения многоугольника
- ***Circumscribed about circle*** (Описанный вокруг окружности) – определяет способ построения многоугольника как описанного вокруг некоторой окружности (как вписанного в некоторую окружность);

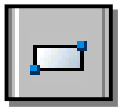
Выполнить упражнения № 11, 12, 13.

Построить многоугольник по известной стороне		***№ 11***
 ***Polygon***	Падающее меню ***Draw*** → ***Polygon***	
	Enter number of side <4>: 4	количество сторон
	Specify center of polygon or [Edge]: E	задать стороной
	Specify first endpoint of edge: 90, 50	точка A
	Specify second endpoint of edge: 90, 100	точка B
		

Построить многоугольник, вписанный в окружность	*№ 12*
 ***Polygon*** Падающее меню ***Draw*** → ***Polygon*** Enter number of side <4>: 5 количество сторон Specify center of polygon or [Edge]: 100,100 центр окружности O Enter an option [Inscribed in circle/ Circumscribed about circle] <I>: i вписанный многоугольник в окружность Specify radius of circle: 20 радиус окружности	
	

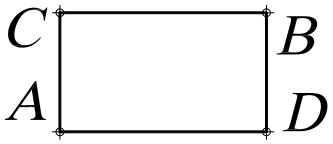
Построить многоугольник, описанный вокруг окружности	*№ 13*
 ***Polygon*** Падающее меню ***Draw*** → ***Polygon*** Enter number of side <4>: 3 количество сторон Specify center of polygon or [Edge]: 100,100 центр окружности O Enter an option [Inscribed in circle/ Circumscribed about circle] <I>: c описанный многоугольник вокруг окружности Specify radius of circle: 10 радиус окружности	
	

12.3.2. ПРЯМОУГОЛЬНИК



Команда ***Rectangle*** (Прямоугольник) – построение прямоугольника – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Rectangle*** (Прямоугольник) или щелчком мыши по пиктограмме ***Rectangle*** (Прямоугольник) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Прямоугольник строится по двум любым диагональным точкам.

Выполнить упражнение № 14.

Построить прямоугольник	*№ 14*
 ***Rectangle*** Падающее меню ***Draw*** → ***Rectangle*** Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: указать точку A (или точку C) Specify other corner point: указать точку B (или точку D)	
	

Опции команды ***Rectangle*** (Прямоугольник):

- ***Chamfer*** (Фаска) используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определёнными фасками;
- ***Fillet*** (Сопряжение) используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определённым радиусом сопряжения углов;
- ***Width*** (Толщина) используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определённой толщиной линии.

Во всех случаях система предлагает параметры по умолчанию, которые проставлены в скобках <…>.

Выполнить упражнения № 15, 16.

Построить прямоугольник с фасками ***№ 15***



Rectangle Падающее меню ***Draw*** → ***Rectangle***

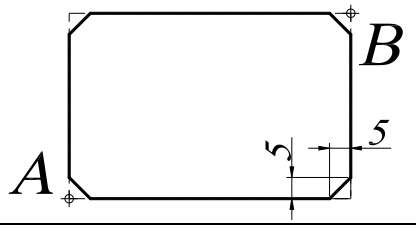
Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: c — задать фаски

Specify first chamfer distance for rectangles <0.0000>: 5 — первый размер фаски

Specify second chamfer distance for rectangles <0.0000>: 5 — второй размер фаски

Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: указать точку A

Specify other corner point: указать точку B



Построить прямоугольник с сопряжением углов ***№ 16***



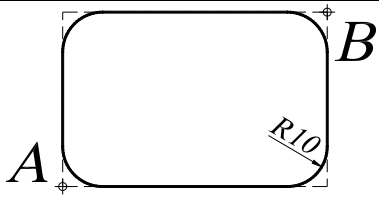
Rectangle Падающее меню ***Draw*** → ***Rectangle***

Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: f — задать радиус сопряжения

Specify fillet radius for rectangles <0.0000>: 5 — размер радиуса сопряжения

Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: указать точку A

Specify other corner point: указать точку B



Замечания:

1. Команда ***Rectangle*** (Прямоугольник) формирует полилинию, поэтому прямоугольник можно рассматривать как единый объект.
2. Параметр Width используется, если необходимо вычертить прямоугольник с заранее определённой толщиной линии. Если задать значение толщины, равное нулю, то линия вычерчивается с толщиной, установленной для текущего слоя.
3. Использование параметров Elevation, Thickness, Width позволяет создать трёхмерный объект (параллелепипед с прямоугольником в основании).

12.4. ПОСТРОЕНИЕ ОКРУЖНОСТЕЙ, ЭЛЛИПСОВ И ИХ ДУГ

12.4.1. ОКРУЖНОСТЬ



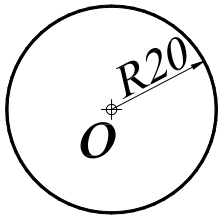
– Команда ***Circle*** (Круг) – построение окружности – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Circle*** (Круг) или щелчком мыши по пиктограмме ***Circle*** (Круг) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Окружности можно строить различными способами. По умолчанию построение выполняется путём задания центра и радиуса.

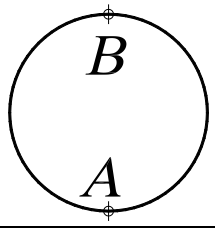
Опции команды ***Circle*** (Круг):

- ***3P*** (3Т) – по трём точкам, не принадлежащим одной прямой;
- ***2P*** (2Т) – по двум точкам, лежащим на диаметре;
- ***Ttr*** (ККР) – по двум касательным и радиусу;
- ***Tan Tan Tan*** (Кас Кас Кас) – окружность, касающаяся трёх объектов. В этом случае система автоматически включает режим объектной привязки Tangent (см. панель инструментов «Объектная привязка»).

При построении окружности, касательной к двум примитивам, необходимо указать графическим курсором на экране монитора приблизительную точку касания на заданных примитивах. Данный способ построения окружности предполагает её вычерчивание как касательной к двум отрезкам прямых, касательной к двум окружностям, касательной к отрезку и окружности.

Выполнить упражнения № 17 - 26 (для выполнения упражнений постройте примитивы, показанные штриховой линией).

Построить окружность по центру и радиусу	***№ 17***
 ***Circle*** Падающее меню ***Draw*** → ***Circle*** Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 100,100 центр O Specify radius of circle or [Diameter]: 20 радиус окружности	
	

Построить окружность по двум точкам диаметра	***№ 18***
 ***Circle*** Падающее меню ***Draw*** → ***Circle*** Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 2P Specify first end point of circle's diameter: 100,50 точка A Specify second end point of circle's diameter: 100,90 точка B	
	

Построить окружность по трём точкам	*№ 19*



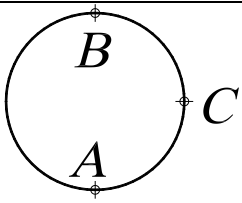
Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 3P

Specify first end point of circle's diameter: 100,50 точка A

Specify second end point of circle's diameter: 100,90 точка B

Specify third end point of circle's diameter: 120,70 точка C



Построить окружность, касательную двум примитивам	*№ 20*



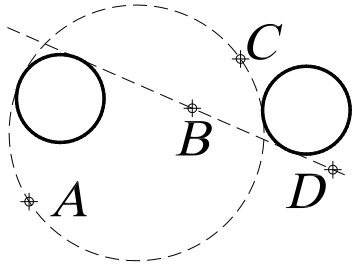
Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: TTR

Specify point on object for first tangent of circle:указать на окружность A (или C)

Specify point on object for second tangent of circle: указать на линию B (или D)

Specify radius of circle: 10 радиус окружности



Построить окружность, касательную к прямой	*№ 21*



Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

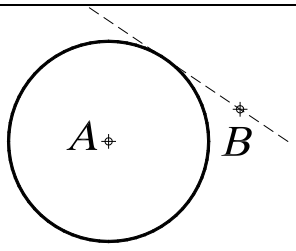
Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]:

указать центр окружности A

Specify radius of circle or [Diameter]:_ tan to щелкнуть мышью по пик-тограмме панели объектной привязки Tangent и



указать на точку B



Построить окружность, касательную двум окружностям ***№ 22***



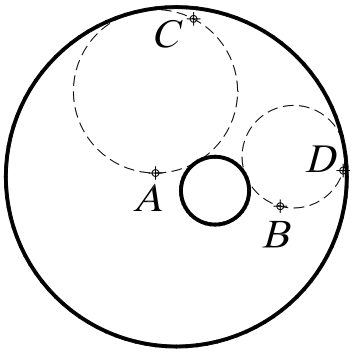
Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: TTR

Specify point on object for first tangent of circle:указать на окружность A (или C)

Specify point on object for second tangent of circle: указать на линию B (или D)

Specify radius of circle: 10 радиус окружности



Построить окружность по двум точкам диаметра, лежащим на концах отрезка ***№ 23***

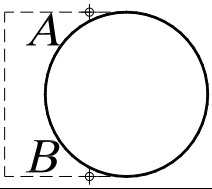


Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 2P

Specify first end point of circle's diameter: щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки ENDpoint  и указать графическим курсором на точку A

Specify second end point of circle's diameter: щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки ENDpoint  и указать графическим курсором на точку B



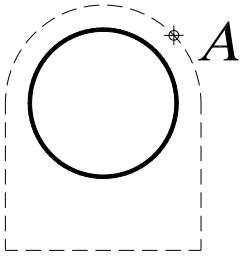
Построить концентрическую окружность ***№ 24***



Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки CENter  и указать графическим курсором на точку A

Specify radius of circle or [Diameter]: 15 радиус окружности



Построить окружность, касательную к трём примитивам ***№ 25***



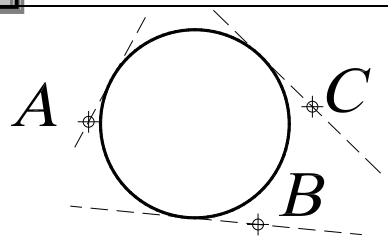
Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 3P

Specify first point on circle: _ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки Tangent  и указать графическим курсором на точку A

Specify second point on circle:_ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки  Tangent и указать графическим курсором на точку B

Specify third point on circle:_ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки Tangent  и указать графическим курсором на точку C



Построить окружность, касательную к трём примитивам ***№ 26***



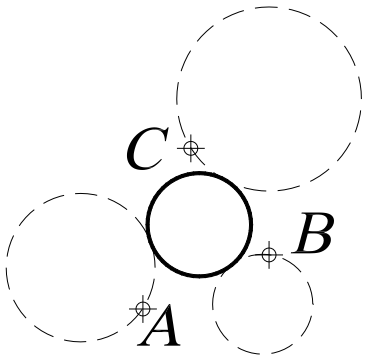
Circle Падающее меню ***Draw*** → ***Circle***

Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius]: 3P

Specify first point on circle: _ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки Tangent  и указать графическим курсором на точку A

Specify second point on circle:_ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки  Tangent и указать графическим курсором на точку B

Specify third point on circle:_ tan to щелкнуть мышью по пиктограмме панели объектной привязки Tangent  и указать графическим курсором на точку C



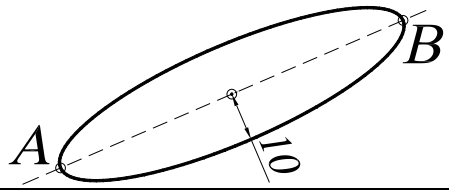
12.4.2. ЭЛЛИПС

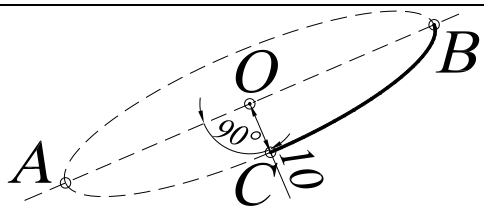


– Команда ***Ellipse*** (Эллипс) – построение эллипса – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Ellipse*** (Эллипс) или щелчком мыши по пиктограмме ***Ellipse*** (Эллипс) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Эллипсы можно строить различными способами. По умолчанию строится путём указания начала и конца первой оси эллипса, а также половины второй оси.

- ***Center*** (Центр) – построение эллипса по точке его центра и двум конечным точкам его осей;
- ***Arc*** **(**Дуга**) –** режим построения эллиптических дуг. По умолчанию эллиптические дуги, как и эллипсы, строятся путём указания конечных точек первой оси и половины длины второй. После этого задаются начальный и конечный углы. За начало отсчёта углов эллиптической дуги принимается большая ось эллипса. Если начальный и конечный углы совпадают, строится полный эллипс. Вместо задания конечного угла можно указать центральный угол дуги, измеренный от начальной точки.

Выполнить упражнения №27, 28

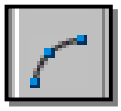
Построить эллипс по двум осям	***№ 27***
 ***Ellipse*** Падающее меню ***Draw*** → ***Ellipse*** Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: 130, 170 точка A Specify other endpoint of axis: 200, 200 точка B Specify distance to other axis [Rotation]: 10 длина половины оси	
	

Построить эллиптическую дугу	***№ 28***
 ***Ellipse*** Падающее меню ***Draw*** → ***Ellipse*** Specify axis endpoint of ellipse or [Arc/Center]: A режим построения дуг Specify axis endpoint of elliptical arc or [Center]: 130, 170 точка A Specify other endpoint of axis: 200, 200 точка B Specify distance to other axis or [Rotation]: 10 длина половины оси Specify start angle or [Parameter]: 90 угол AOC Specify end angle or [Parameter/ Included angle]: 180 угол AOB	
	



Для построения эллиптической дуги можно использовать команду - ***Elliptical arc*** (Эллиптическая дуга), которая вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Elliptical arc*** (Эллиптическая дуга) или щелчком мыши по пиктограмме ***Elliptical arc*** (Эллиптическая дуга) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

12.4.3. ДУГА ОКРУЖНОСТИ



– Команда ***Arc*** (Дуга) – построение дуги окружности – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Arc*** (Дуга) или щелчком мыши по пиктограмме ***Arc*** (Дуга) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Дуги строятся различными способами, однако по умолчанию построение производится по трём точкам – начальной, промежуточной и конечной.

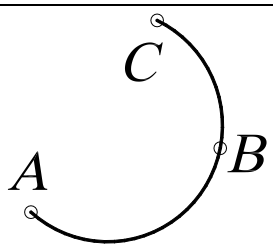
Опции команды ***Arc*** (Дуга):

- ***Center*** (Центр) – точка центра дуги;
- ***End*** (Конец) – конечная точка дуги;
- ***Angle*** (Угол) – величина угла;
- ***Chord Length*** (**Длина хорды**) – длина хорды;
- ***Direction*** (Направление) – направление касательной;
- ***Radius*** (Радиус) – радиус дуги.

Существует несколько способов построения дуги окружности по следующим трём параметрам:

1) ***3 Point*** (3 точки) – по трём точкам, не принадлежащим одной прямой;
2) ***St, C, End*** (Н, Ц, К) – по стартовой точке, центру и конечной точке дуги (положительным считается направление против часовой стрелки);
3) ***St, C, Ang*** (Н, Ц, Угол) – по стартовой точке, центру и углу;
4) ***St, C, Len*** (Н, Ц, Длин) – по стартовой точке, центру и длине хорды. Дуга строится против часовой стрелки от начальной точки, причем по умолчанию строится меньшая из двух возможных дуг (та, что меньше 180^0). Если же вводится отрицательное значение длины хорды, будет построена большая дуга;
5) ***St, E, Ang*** (Н, К, Угол) – по стартовой точке, конечной точке и углу;
6) ***St, E, Dir*** (Н, К, Напр) – по стартовой точке, конечной точке и направлению – углу наклона касательной из начальной точки;
7) ***St, E, Rad*** (Н, К, Рад) – по стартовой точке, конечной точке и радиусу. Меньшая дуга строится против часовой стрелки;
8) ***Ce, S, End*** (Ц, Н, К) – построение дуги по центру, стартовой и конечной точке;
9) ***Ce, S, Ang*** (Ц, Н, Угол) – построение дуги по центру, стартовой точке и углу;
10) ***Ce, S, Len*** (Ц, Н, Длин) – построение дуги по центру, стартовой точке и длине хорды;
11) ***ArcCont*** (ПродДуг) – построение дуги как продолжение отрезка или дуги.

Выполнить упражнения № 29 – 33.

Построить дугу по трём точкам	***№ 29***
 ***Arc*** Падающее меню ***Draw*** → ***Arc (3 point)*** Specify start point of arc or [Center]: 100, 250 точка A Specify second point of arc or [Center/End]: 130, 260 точка B Specify start point of arc: 120,280 точка C	
	

Построить дугу по начальной точке, центру и величине угла	*№ 30*

Arc Падающее меню ***Draw → Arc (St,C,Ang)***

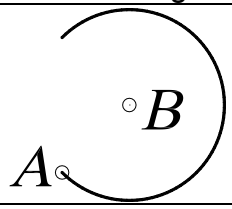
Specify start point of arc or [Center]: 100, 250 точка A

Specify second point of arc or [Center/End]: c

Specify center point of arc: 110, 260 точка B

Specify end point of arc or [Angle/ chord Length]: a

Specify included angle: 270 угол



AutoCAD всегда проводит дугу от начальной точки в направлении против часовой стрелки. Две дуги, построенные одним и тем же способом, могут совершенно отличаться друг от друга. В следующих упражнениях показаны различия в построении одних и тех же дуг, но с противоположным значением длины хорды, размера радиуса. Необходимо помнить, что положительным считается направление против часовой стрелки.

Построить дугу по начальной точке, центру и длине хорды	*№ 31*

Arc Падающее меню ***Draw → Arc (St,C,Len)***

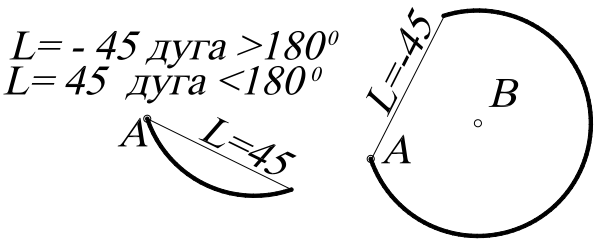
Specify start point of arc or [Center]: 100, 250 точка A

Specify second point of arc or [Center/End]: c

Specify center point of arc: 130, 260 точка B

Specify end point of arc or [Angle/ chord Length]: a

Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: - 45 длина хорды



Построить дугу по двум точкам и радиусу	*№ 32*

Arc Падающее меню ***Draw → Arc (St,E,Rad)***

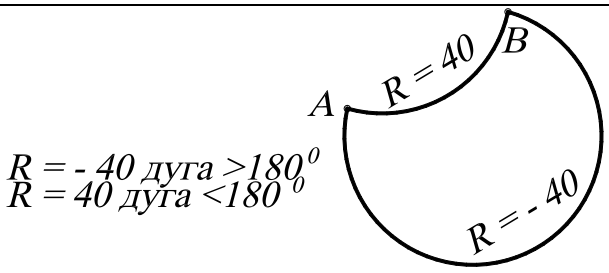
Specify start point of arc or [Center]: 100, 250 точка A

Specify second point of arc or [Center/End]: e

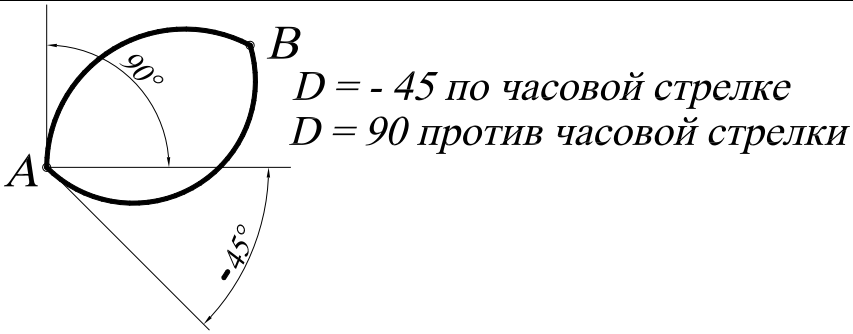
Specify end point of arc:150,280 конечная точка B

Specify center point of arc or [Angle/Direction/Radius]: r

Specify radius of arc: -40



Построить дугу по двум точкам и касательной		*№ 33*
Arc	Падающее меню ***Draw → Arc (St,E,Dir)***	
	Specify start point of arc or [Center]: 80,420	точка A
	Specify second point of arc or [Center/End]: e	
	Specify end point of arc: 130,450	точка B
	Specify center point of arc or [Angle/Direction/Radius]: d	
	Specify tangent direction for the start point of arc: -45	направление



13. ТЕКСТОВЫЕ СТИЛИ

При нанесении надписи в ***AutoCAD*** используется некоторый текстовый стиль, который задает высоту, угол поворота, ориентацию и др. В одном рисунке можно создавать и использовать несколько текстовых стилей.

Все текстовые стили, кроме STANDART, пользователь создает по своему желанию. Создание текста и команды его регенерации производятся в диалоговом окне ***Text Style*** (Текстовые стили) (рис. 35), вызываемом из падающего меню ***Format*** (Формат) → ***Text Style*** (Текстовые стили).

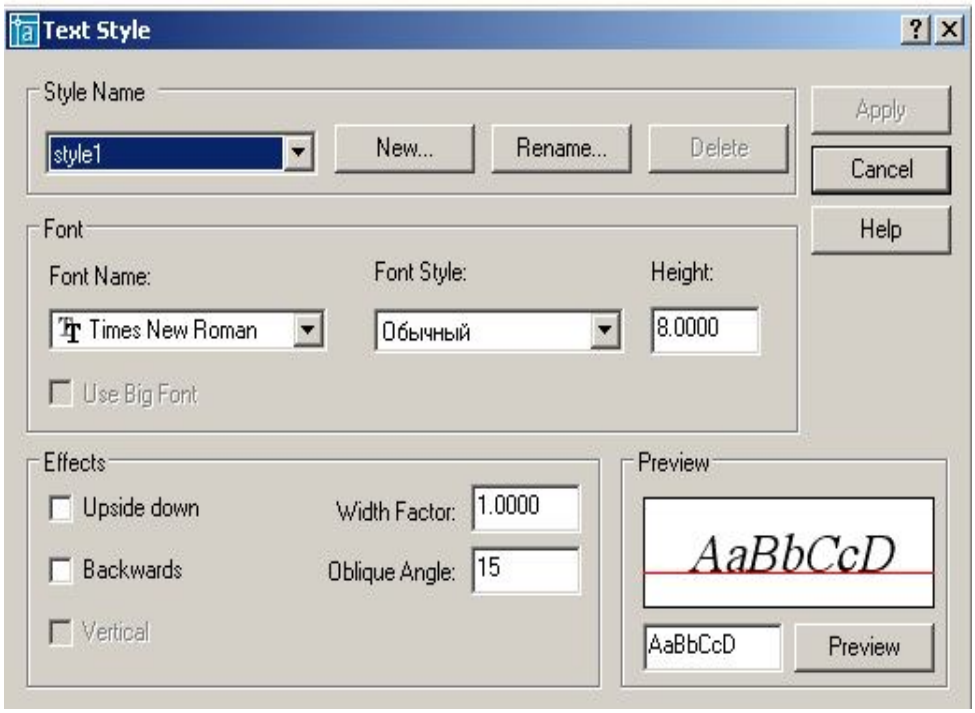


Рис. 35.

Для создания нового стиля необходимо щелкнуть мышью по кнопке ***New*** (Новый), при этом открывается диалоговое окно ***New Text Style*** (Новый текстовый стиль), в котором задается имя создаваемого стиля. Новому стилю присваиваются значения параметров, заданные первоначально в окне ***Text Style*** (**Текстовые стили**), которые, как правило, нуждаются в изменении.

В области ***Font*** (Шрифт) в раскрывающемся списке поля ***Font Name***: (Имя шрифта:) следует выбрать подходящий шрифт, например Times New Roman. Сделанные изменения для нового шрифта иллюстрируются в поле ***Preview*** (Образец).

Высота текста задается в поле ***Height:*** (Высота:) и определяет размер знаков используемого шрифта. Если в процессе описания стиля текста задана фиксированная высота текста, при создании однострочных надписей запрос ***Height:*** (Высота:) не выводится. При необходимости нанесения надписей разной высоты с использованием одного и того же текстового стиля следует при его создании указать высоту, равную 0.

Угол наклона текста задается в поле ***Oblique Angle*** (Угол наклона). Угол наклона текста задается от вертикальной линии по часовой стрелке.

13.1. ОДНОСТРОЧНЫЙ ТЕКСТ

Надписи на чертежах могут представлять собой сложные спецификации, элементы основной надписи, заголовки и т. п. Небольшие надписи, не требующие внутреннего форматирования, создаются в виде однострочных текстов при помощи команды ***TEXT*** (**ТЕКСТ**). Однострочные тексты удобно применять для заголовков.



– Команда ***TEXT*** (Текст) – формирование текста – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***TEXT*** (Текст) → ***Single Line Text*** (Однострочный) или щелчком мыши по пиктограмме ***TEXT*** (Текст) одноимённой панели инструментов.

Однострочный текст формируется по следующим опциям команды:

- ***Style*** (**Стиль**) – установление нового текстового стиля, путем выбора его из имеющихся стилей;
- ***Justify*** (**Выравнивание**) – выравнивание текстовой строки с использованием ключей выравнивания:

1. ***Align***, ***Fit*** – формируют вписанный текст между двумя введёнными точками:



– ***Align*** – высота и ширина каждого символа вычисляется автоматически;



– ***Fit –AutoCAD*** запрашивает высоту шрифта и автоматически подбирает ширину символа;

2.***Center***, ***Middle*** – центрирует текст относительно введенной точки:



– ***Center*** – центрирование текста по горизонтали;

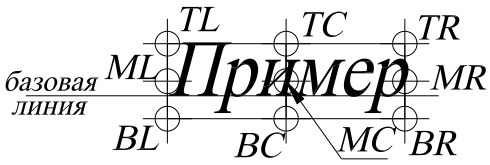


– ***Middle*** – центрирование текста по горизонтали и по вертикали;

3.***Right*** – выравнивание текста по правому краю:



4. Выравнивание текста относительно указанной точки, обозначаемой следующими символами – ***TL***, ***TC***, ***TR***, ***ML***, ***MC***, ***MR***, ***BL***, ***BC***, ***BR***, аббревиатуры слов:
T – ***Top*** (верхний), ***M*** – ***Middle*** (средний), ***B*** – ***Bottom*** (нижний), ***L*** – ***Left*** (левый), ***C***-***Center*** (центр), ***R*** – ***Right*** (правый).



Выполнить упражнения № 34 – 40.

Сформировать однострочный текст	***№ 34***

TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text*** → ***Single Line Text***

```
Current text style:  "Standard"  Text height:  8.0000
Specify start point of text or [Justify/Style]: 100,500     начальная точка 1
                Specify height <8.0000>: 20                 высота текста
          Specify rotation angle of text <0>: 0             угол поворота строки
                                Enter text: пример          формируемая надпись
                                Enter text: выполнения      формируемая надпись
                                Enter text: <ENTER>
```

1 пример
выполнения

Для продолжения многострочных текстов команду ***Text*** повторяют обычным, принятым в системе способом, а затем на первый запрос отвечают нажатием клавиши ENTER. Тогда новая строка текста разместится под последней строкой вычерченного перед этим текста и будет иметь тот же текстовый стиль, высоту и угол поворота (см. упражнение 34).

Сформировать однострочный вписанный текст	***№ 35***

TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text*** → ***Single Line Text***

```
                                Current text style:  "style2"  Text height:  15.0000
          Specify start point of text or [Justify/Style]: Jus                выровненный
Enter an option
[Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: Align            вписанный
       Specify first endpoint of text baseline: 150,490                      точка 1
Specify second endpoint of text baseline: 240,490                            точка 2
                                Enter text: пример                  формируемая надпись
                                Enter text: вписанного текста       формируемая надпись
                                Enter text: <ENTER>
```

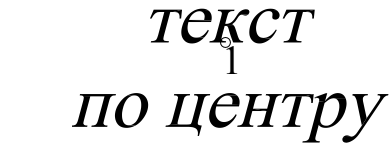
1 *пример* 2
вписанного текста

Сформировать текст, выровненный по центру	*№ 36*



TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text***→ ***Single Line Text***

```
                    Current text style:  "style2"  Text height:  15.0000
Specify start point of text or [Justify/Style]: Jus                выровненный
Enter an option
 [Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: Center     по центру
                  Specify center point of text: 60,530                точка 1
                    Specify height <15.0000>: 10                      высота символа
                    Specify rotation angle of text <0>: 0             угол поворота строки
                    Enter text: текст                                 формируемая надпись
                    Enter text:  по центру                            формируемая надпись
                    Enter text: <ENTER>
```



Первоначальное представление строки текста на экране дисплея не зависит от выбора параметра. Текст модифицируется в соответствии с указанным параметром в момент окончания работы команды.

Сформировать текст, выровненный по ширине	*№ 37*



TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text***→ ***Single Line Text***

```
 Current text style:  "style2"  Text height:  10.0000
Specify start point of text or [Justify/Style]: Jus                выровненный
Enter an option
 [Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: Fit     по ширине
Specify first endpoint of text baseline: 10,610                    точка 1
Specify second endpoint of text baseline: 70,610                   точка 2
Specify height <10.0000>: 10                                       высота символа
Enter text: Текст,                                                 формируемая надпись
Enter text: выровненный по ширине                                  формируемая надпись
Enter text: <ENTER>
```



Сформировать текст, выровненный по средней точке **№ 38**



TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text*** → ***Single Line Text***

Current text style: "style2" Text height: 10.0000
Specify start point of text or [Justify/Style]: Jus — выровненный
Enter an option
[Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: Middle
— по средней точке
Specify middle point of text: 170,620 — точка 1
Specify height <10.0000>: 10 — высота символа
Specify rotation angle of text <0>: 0 — угол поворота
Enter text: **Надпись,** — формируемая надпись
Enter text: **выровненная по средней точке** — формируемая надпись
Enter text: <ENTER>

Надпись,
выровненная по средней точке

Сформировать текст, выровненный вправо **№ 39**



TEXT Падающее меню ***Draw*** → ***Text*** → ***Single Line Text***

Current text style: "style2" Text height: 10.0000
Specify start point of text or [Justify/Style]: Jus — выровненный
Enter an option
[Align/Fit/Center/Middle/Right/TL/TC/TR/ML/MC/MR/BL/BC/BR]: Right — вправо
Specify right endpoint of text baseline: 240,680 — точка 1
Specify height <10.0000>: 10 — высота символа
Specify rotation angle of text <0>: 0 — угол поворота строки
Enter text: **Текст**, — формируемая надпись
Enter text: **выровненный вправо** — формируемая надпись
Enter text: <ENTER>

Текст,
выровненный вправо

Создать новый наклонный стиль **№ 40**

Падающее меню ***Format*** → ***Text Style***
В диалоговом окне ***Text Style*** выбрать кнопку *New* (Новый)
В поле Style Name: указать новое любое имя стиля
В раскрывающемся списке названий шрифтов ***Font Name:*** выбрать arial
В поле Oblique Angle: (Угол наклона:) указать 10 градусов
В поле Height: (Высота:) указать 0
Используя команду  ***TEXT*** написать свое имя, фамилию

решение
новых вопросов

Использование специальных символов в однострочном тексте осуществляется с помощью управляющих кодов, которые вводятся в командную строку непосредственно перед вводом текста:

- %%o – включает или выключает режим надчеркивания символов;
- %%u - включает или выключает режим подчеркивания символов;
- %%d – размещает в соответствующей позиции строки текста символ «градус» (°);
- %%p – размещает в соответствующей позиции строки текста символ «плюс-минус» (±);
- %%c – размещает в соответствующей позиции строки текста символ «диаметр окружности» (∅).

13.2. МНОГОСТРОЧНЫЙ ТЕКСТ

Многострочный текст используется для нанесения многострочных текстов на чертежах.



– Команда ***MTEXT*** (**МТЕКСТ**) – формирование многострочного текста - вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Text*** (Текст) → ***Multiline Text*** (Многострочный текст) или щелчком мыши по пиктограмме ***Multiline Text*** (Многострочный текст) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

В ответ на команду система выдает в первой строке сообщение, а затем запрос: Current text style: "Standard" Text height: 8 (Текущий текстовый стиль).

Specify first corner: (Задайте первый угол:). Задать координаты первой точки рамки текстового окна (с помощью клавиатуры или графическим курсором).

Specify opposite corner or [Height/Justify/Line spacing/Rotation/Style/Width]: (Задайте противоположный угол или…)

- ***Height*** используется, если необходимо изменить высоту символов многострочного текста;
- ***Justify*** используется, если необходимо изменить способ выравнивания многострочного текста;
- ***Line spacing*** используется, если необходимо изменить расстояния между строками в текстовом окне;
- ***Rotation*** используется, если необходимо изменить угол поворота рамки текстового окна;
- ***Style*** используется, если необходимо изменить текстовый стиль;
- ***Width*** используется, если необходимо задать ширину рамки текстового окна.

После указания размеров абзаца загружается диалоговое окно ***Text Formatting*** (Форматирование текста) (рис. 36), которое содержит средства форматирования символов текста:

- Font – раскрывающийся список выбора шрифтов;
- Font Height – раскрывающийся список ввода высоты шрифта;
- Bold – кнопка установки полужирного начертания символов;
- Italic – кнопка начертания символа курсивом;
- Underline – кнопка установки начертания символа с подчеркиванием;
- Undo – кнопка отмены;
- Stack/Unstack – кнопка установки начертания дробей в одну или две строки;
- Text Color – раскрывающийся список выбора цвета символа.

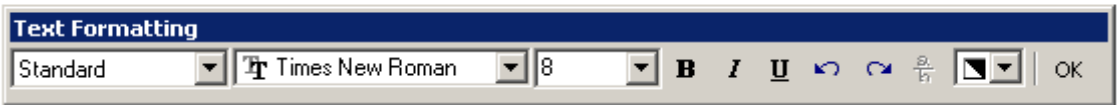


Рис. 36.

14. БЛОК

Пакет ***AutoCAD*** предоставляет пользователю различные способы работы с данными в чертежах. В том случае, когда часто встречается одна и та же группа объектов (крепежные изделия, подшипники, уплотнения и т. п.), целесообразно использовать блоки. *Блоки* – это именованные объекты, состоящие из любого количества примитивов системы ***AutoCAD***. Блоки можно вставлять в рисунок с масштабирование и поворотом, расчленять на составляющие объекты и редактировать. Блок может включать в себя другие блоки. При создании блока задается базовая точка и выбираются объекты, входящие в блок.

Возможны два типа блоков: *локальные* и *автономные*. Локальные блоки входят в состав того чертежа, в котором они были созданы, и не могут быть перенесены в другой чертеж. Автономные блоки хранятся в виде отдельного файла чертежа и могут быть использованы в других чертежах.

С каждым блоком можно связать *атрибуты*, то есть текстовую информацию для хранения вместе с блоком, которую допускается редактировать в процессе вставки блока. Распространенный пример использования атрибутов – заполнение основной надписи чертежа.

14.1. СОЗДАНИЕ БЛОКОВ



– Команда ***Block*** (Блок) – создание локального блока из объектов текущего чертежа - вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Block*** (Блок) → ***Make*** (Создать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Make Block*** (Создать блок) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). Команда раскрывает диалоговое окно ***Block Definition*** (Описание блока), представленное на рис. 37.

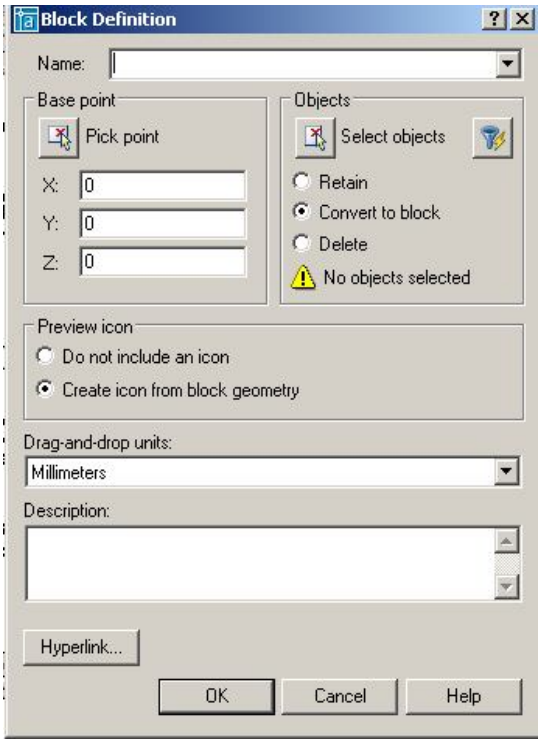


Рис. 37.

При создании блока в диалоговом окне ***Block Definition*** (Описание блока) следует:

- в поле ***Name:*** (Имя:) ввести имя создаваемого блока;
- в области ***Objects*** (Объекты) нажать кнопку ***Select objects*** (Выбрать объекты) и выбрать объекты на экране монитора, подлежащие включению в блок. При этом диалоговое окно временно закрывается. Затем следует нажать клавишу ***Enter*** после окончания выбора объектов и диалоговое окно снова откроется;
- в области ***Base point*** (Базовая точка) задать координаты базовой точки вставки или нажать на кнопку ***Pick point*** (Указать) для выбора базовой точки. После щелчка по этой кнопке диалоговое окно временно закрывается, и пользователь имеет возможность указать базовую точку на изображении блока;
- в поле ***Description*** (Пояснение) ввести текстовые пояснения для облегчения идентификации и поиска блока в дальнейшем;
- кнопка ***Hyperlink*** позволяет включить в описание создаваемого объекта гиперсвязь.

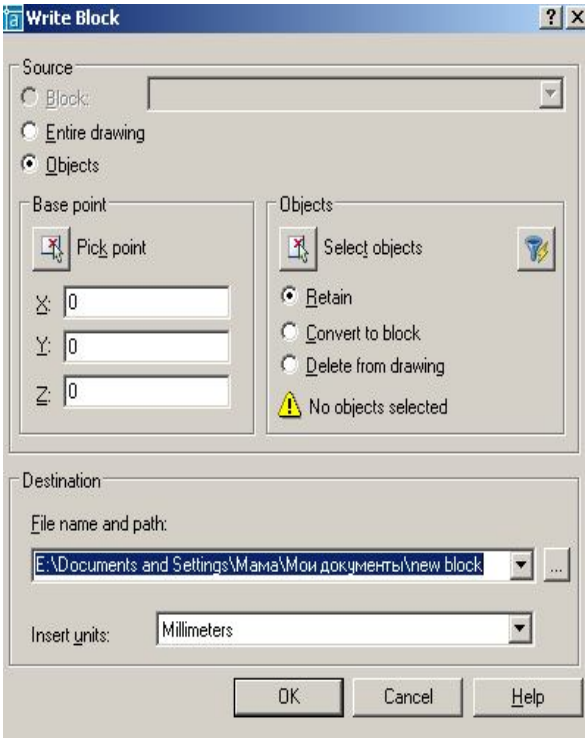
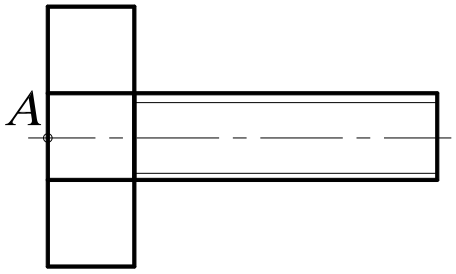


Рис. 38.

Для создания автономных блоков применяется команда ***WBLOCK*** (ПБЛОК), которая вызывается через командную строку: ***WBLOCK*** (***W***). В ответ на команду система открывает диалоговое окно ***Write Block*** (Запись блока на диск), показанное на рис. 38, в котором следует указать блок или объект, записываемый в отдельный файл. Описание блока сохраняется в отдельном чертеже.

Выполнить упражнение № 41 (для выполнения упражнения создайте чертёж, показанный в данном упражнении).

Создать локальный блок	***№ 41***
Block Падающее меню ***Draw*** → ***Block*** → ***Make*** В диалоговом окне ***Block Definition*** в поле Name: ввести произвольное имя создаваемого блока, например, BOLT. Щелкнуть мышью по кнопке ***Pick point***. Specify insertion base point: указать точку A Щелкнуть мышью по кнопке ***Select objects*** Select objects: выбрать весь объект рамкой. Select objects: <ENTER> Щелкнуть мышью по кнопке OK.	
	

14.2. ВСТАВКА БЛОКА

– Команда ***Insert*** (Вставить) – служит для вставки ранее созданного блока или чертежа из файла в текущий чертёж. Вызывается из падающего меню ***Insert*** (Вставить) → ***Block*** (Блок) или щелчком мыши по пиктограмме ***Insert*** (Вставить) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать). В ответ на команду система открывает диалоговое окно ***Insert*** (Вставить), представленное на рис. 39.

Раскрывающийся список ***Name:*** (Имя:) позволяет выбрать для вставки в текущий чертёж существующий локальный блок. Чтобы вставить в текущий чертёж автономный блок,

нужно нажать кнопку ***Browse***, а затем выбрать необходимый файл. Информационное поле ***Path*** содержит путь к отобранному файлу автономного блока. Флажок ***Explode*** (Взорвать) разрешает системе при вставке блока расчленить его на исходные данные.

Диалоговое окно ***Insert*** (Вставить) содержит три основные панели.

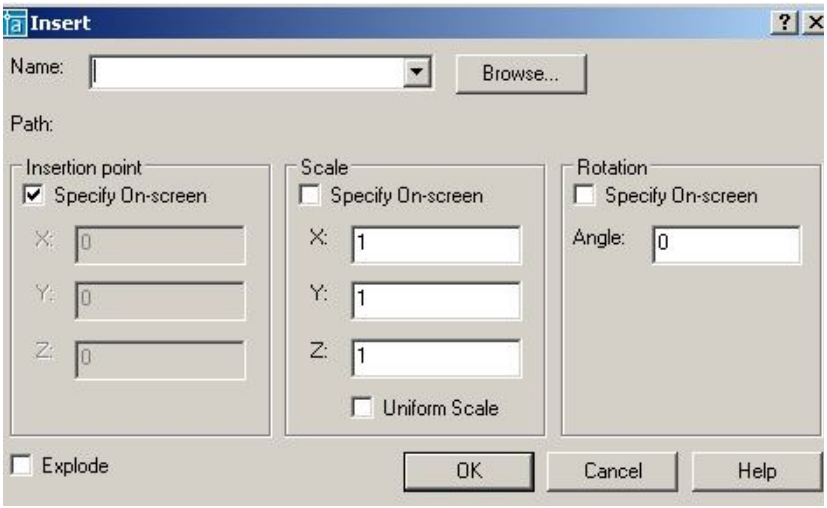


Рис. 39.

1. Панель ***Insertion point*** позволяет выбрать способ задания координат точки вставки блока (точки, с которой будет совмещена базовая точка, созданная при формировании блока): указание на чертеже или ввод числовых значений координат. Поля ввода **X**, **Y**, **Z** позволяют задать числовые значения координат точки вставки блока в текущей системе координат.

Флажок ***Specify On-screen*** разрешает указать нужную точку на чертеже. После щелчка по кнопке ОК диалоговое окно временно закрывается и пользователь имеет возможность указать точку вставки блока на чертеже.

2. Панель ***Scale*** (Масштаб) позволяет выбрать способ задания коэффициентов масштабирования при вставке блока: указание на чертеже или ввод числовых значений координат. Поля ввода **X**, **Y**, **Z** позволяют задать числовые значения масштабирования при вставке блока по осям координат.

Флажок ***Specify On-screen*** разрешает задать значения коэффициентов масштабирования на чертеже.

Флажок ***Uniform Scale*** устанавливает по осям координат одинаковые значения коэффициентов масштабирования.

3. Панель ***Rotation*** позволяет выбрать способ задания при вставке блока угла поворота относительно номинального его положения: указание на чертеже или ввод числового значения. Панель содержит кнопку-переключатель и поле ввода числового значения угла поворота. Поле ввода ***Angle*** позволяют задать числовые значения угла поворота при вставке блока. Флажок ***Specify On-screen*** разрешает задать числовые значения угла поворота на чертеже. После щелчка по кнопке ОК диалоговое окно временно закрывается и дальнейший диалог осуществляется в командной строке. Выполнить упражнение № 42.

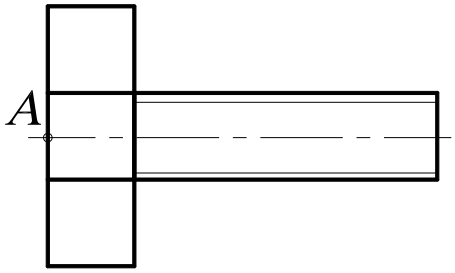


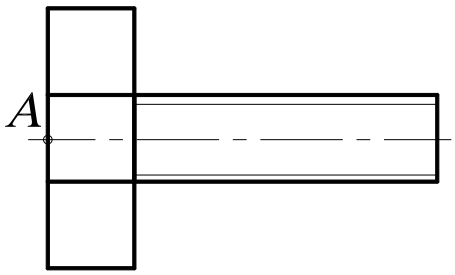
– Команда ***Explode*** (Взорвать) – расчленяет блок, размер, штриховку на отдельные составляющие объекты. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) или щелчком мыши по пиктограмме ***Explode*** (Взорвать) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

При вставке блока в чертёж ***AutoCAD*** обрабатывает его как графический примитив, то есть единый объект, который нельзя изменять. Для обеспечения работы с отдельными составляющими блока его необходимо разбить или «взорвать». Это можно сделать и в момент вставки блока в чертёж, установив в диалоговом окне ***Insert*** (Вставить) флажок ***Explode*** (Взорвать).

Команда ***Explode*** (Взорвать) используется для расчленения объектов, созданных командой ***Region*** (Область) (см. далее в разделе «Создание замкнутых объектов»).

Выполнить упражнение № 43.

Вставить блок в чертёж	***№ 42***
 ***Insert*** Падающее меню ***Insert*** → ***Block*** В диалоговом окне ***Insert*** в поле Name: ввести имя вызываемого блока, которое можно указать из раскрывающегося списка, например: BOLT. Щелкнуть мышью по кнопке ***OK*** Specify insertion point or [Scale/X/Y/Z/Rotate/PScale/PX/PY/PZ/PRotate]: указать точку вставки блока	
	

Взорвать (расчленить) блок	***№ 43***
 ***Explode*** Падающее меню ***Modify*** → ***Explode*** Select objects: указать блок в любой точке контура, например, точка А Select objects: <ENTER>	
	

15. СОЗДАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕКТОВ

Для построения некоторых объектов, например трёхмерных объектов методом выдавливания или вращения, могут быть использованы замкнутые полилинии либо области. Разница между этими двумя типами объектов состоит в том, что объект *полилиния* представляет собой именно замкнутую линию, а объект *область* – часть плоскости, ограниченную замкнутой линией. Поэтому последний объект может характеризоваться массогабаритными параметрами вроде веса, положения центра тяжести, площади и т. д.

Массогабаритные параметры области вычисляются с помощью команды MASSPROP, которая запускается из меню ***Tools*** (Инструменты)→ ***Inquiry*** (Запрос).

Если исходный контур состоит из нескольких объектов (отрезков, дуг, эллиптических дуг и т. п.), его можно превратить в единый объект, используя команду ***Region*** (Область).



– Команда ***Region*** (Область) – создаёт замкнутую область из набора существующих объектов – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Region*** (Область) или щелчком мыши по пиктограмме ***Region*** (Область) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

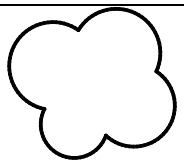
Выполнить упражнение № 44. Для выполнения этого упражнения вначале создайте произвольный объект, состоящий из нескольких элементов, например, из четырёх дуг, контур которых является замкнутым.

Создать замкнутую область	*№ 44*

Region Падающее меню ***Draw*** → ***Region***

Select objects: Specify opposite corner: 4 found выбрать графическим курсором все четыре дуги с помощью предполагаемой рамки, растягивая по диагонали.
Select objects: <ENTER>
Щелкните мышью на контур – создан единый объект

Разбейте данный объект на составляющие его четыре дуги с помощью команды *Explode*.



16. ШТРИХОВКА

– Команда ***Hatch*** (Штриховка) – выполнение штриховки замкнутой области – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Hatch*** (Штриховка) или щелчком мыши по пиктограмме ***Hatch*** (Штриховка) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать).

Команда ***Hatch*** (Штриховка) позволяет штриховать область, ограниченную замкнутой линией, как путём указания любой точки внутри контура, так и путём выбора объектов. Эта команда автоматически определяет контур и игнорирует любые целые примитивы и их составляющие, которые не являются частью контура. Текущим значением по умолчанию (в угловых скобках) может быть или имя одного из образцов штриховки, или по желанию пользователя (User). В первом случае в ответ на запрос системы необходимо указать имя одного из образцов, а во втором случае пользователь сообщает системе о намерении создать свой несложный топ штриховки, для чего отвечает символом ***U***.

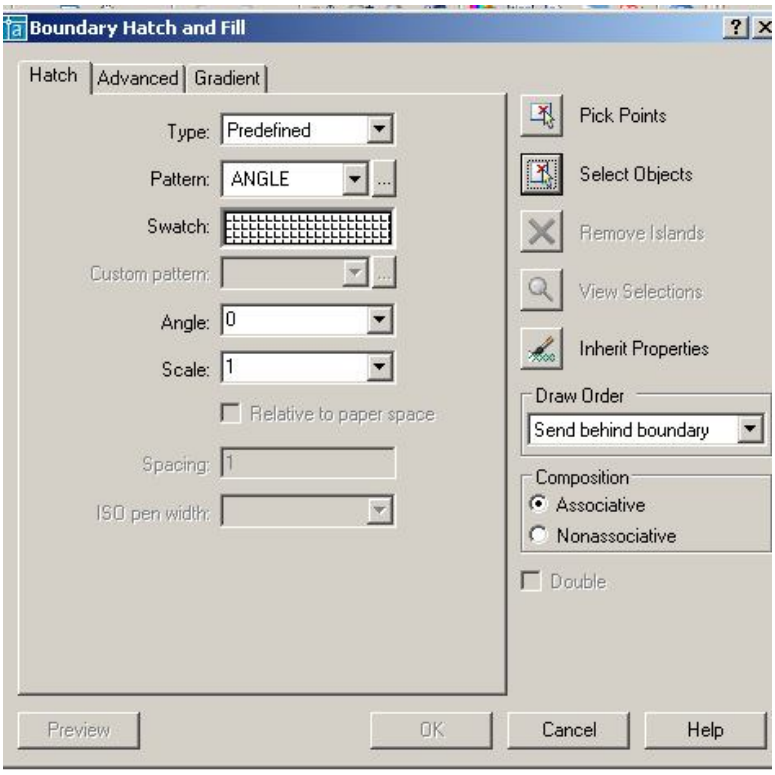


Рис. 40.

Обращение к команде ***Hatch*** (Штриховка) загружается диалоговое окно ***Boundary Hatch and Fill*** (Штриховка по контуру и заполнение), представленное на рис. 40.

1. Вкладка ***Hatch*** (Штриховка) позволяет выбирать образцы штриховки, которые имеются в области ***Pattern:*** (Образец:). Можно пользоваться как раскрывающимся списком, так и диалоговым окном ***Hatch Pattern Palette*** (Палитра образцов штриховки), содержащим пиктограммы с графическими образцами различных штриховок (рис. 41). Для выбора образца штриховки достаточно указать его изображение.

Для использования стандартных образцов штриховок необходимо в области ***Type:*** (Тип:) в раскрывающемся списке выбрать

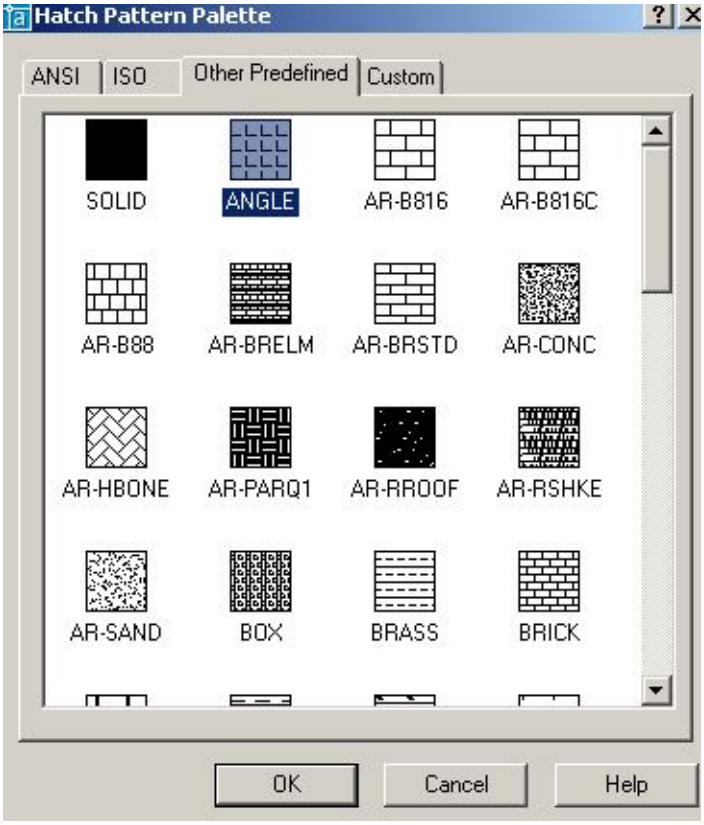


Рис. 41.

Predefined (Стандартный). Текстовые поля ***Scale:*** (Масштаб:) и ***Angle:*** (Угол:) позволяют задать масштабный коэффициент и угол наклона для выбранного образца штриховки.

Чтобы создать свой образец штриховки, надо в области ***Type:*** (Тип:) в раскрывающемся списке выбрать ***User defined*** (**Пользовательский**). При использовании типа штриховки ***Custom*** (По типу линии) следует задать угол наклона в поле ***Angle:*** (Угол:), расстояние между линиями штриховки в поле ***Spacing:*** (Интервал:), если необходимо включить флажок ***Double*** (Крест-накрест) для вычерчивания дополнительных линий под углом 90^0 к основным линиям штриховки.

Для автоматического определения контура штриховки необходимо указать кнопку ***Pick Points*** (Указание точек). Это возможно в том случае, если на чертеже создана замкнутая область.

При определении нескольких контуров штриховки необходимо выбрать несколько внутренних точек, после чего нажать клавишу Enter. Если ***AutoCAD*** определяет, что контур не замкнут или что точка находится вне контура, на экране появляется сообщение об ошибке в диалоговом окне ***Boundary Definition Error*** (Ошибка определения контура).

Для выбора объектов в качестве контура штриховки любым из стандартных способов выбора необходимо указать кнопку ***Select objects*** (Выбор объектов).

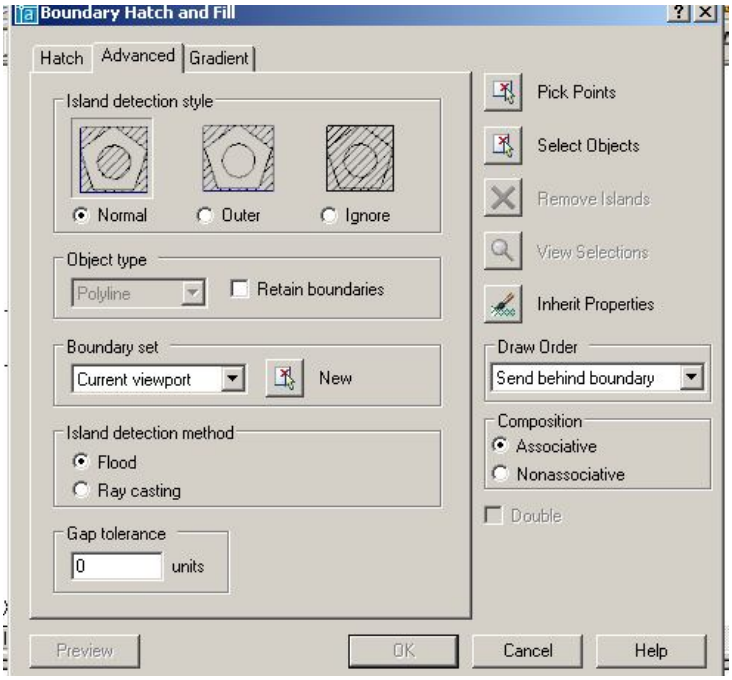


Рис. 42.

2. Вкладка ***Advanced*** (рис. 42) обеспечивает настройку параметров штриховки и содержит четыре панели.

Панель ***Island Direction Style*** содержит три кнопки выбора.

- ***Normal*** – устанавливает стиль штриховки, при котором режим штриховки изменяется при пересечении внутренних границ (используется по умолчанию).
- ***Outer*** – устанавливает стиль штриховки, при котором выполняется штриховка только внешней замкнутой области.
- ***Ignore*** – устанавливает стиль штриховки, при котором выполняется штриховка всей области внутри контура (внутренние границы игнорируются).

Панель ***Object Type*** содержит раскрывающийся список, который позволяет указать, в каком виде сохранять границу штриховки: как полилинию или как область. Кроме того, в этом поле размещена кнопка-переключатель ***Retain Boundaries*** – разрешает режим сохранения границ штриховки.

Панель ***Boundary Set*** – содержит раскрывающийся список, который определяет набор объектов для штрихуемой области.

Панель ***Island Direction Method*** – управляет методом поиска границ внутри выделенной области и содержит две кнопки выбора.

- ***Float*** – включать изолированные участки как граничные объекты.
- ***Ray Casting*** – исключать изолированные участки.

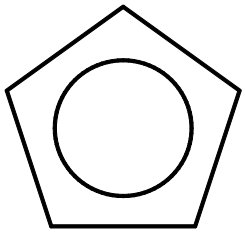
3. Вкладка ***Gradient*** позволяет заполнять замкнутые области градиентной заливкой. При этом можно выбирать угол заливки, количество цветов, центрировать.

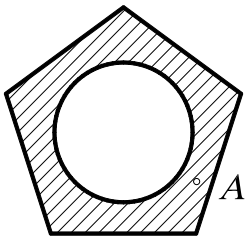
Выполнить упражнения № 45, 46. Для выполнения упражнений сначала создайте замкнутую область, показанную слева в этих упражнениях.

Выполнить штриховку замкнутой области ***№ 45***

Hatch Падающее меню ***Draw*** → ***Hatch***

В диалоговом окне Boundary Hatch and Fill в поле Pattern: выбрать кнопку ….
В диалоговом окне Hatch Pattern Palette выбрать закладку ANSI.
В закладке ANSI выбрать шаблон ANSI31.
В диалоговом окне Boundary Hatch в поле Scale: указать масштаб 1
В диалоговом окне Boundary Hatch в поле Angle: указать угол 0.
Выбрать Pick Points, указать точку A внутри контура, <ENTER>.
В диалоговом окне Boundary Hatch and Fill нажать кнопку OK.



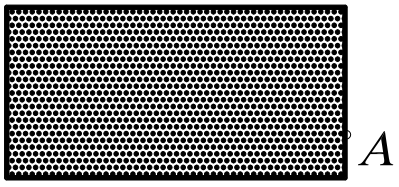


Выполнить штриховку замкнутой области ***№ 46***

Hatch Падающее меню ***Draw*** → ***Hatch***

В диалоговом окне Boundary Hatch and Fill в поле Pattern: выбрать кнопку ….
В диалоговом окне Hatch Pattern Palette выбрать закладку Other Predefined.
В закладке Other Predefined выбрать шаблон DOTS.
В диалоговом окне Boundary Hatch в поле Scale: указать масштаб 1
В диалоговом окне Boundary Hatch в поле Angle: указать угол 0.
Выбрать Select Objects, указать точку A на контуре, <ENTER>.
В диалоговом окне Boundary Hatch and Fill нажать кнопку OK.





17. ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ *Object Snap*
(Объектная привязка)

Объектная привязка (***Osnap***), панель которой показана на рис. 43, позволяет строить новые точки на чертеже, привязываясь к характерным точкам существующих объектов или относительно них, без необходимости знания её координат, а также для построения вспомогательных линий.



Рис. 43.

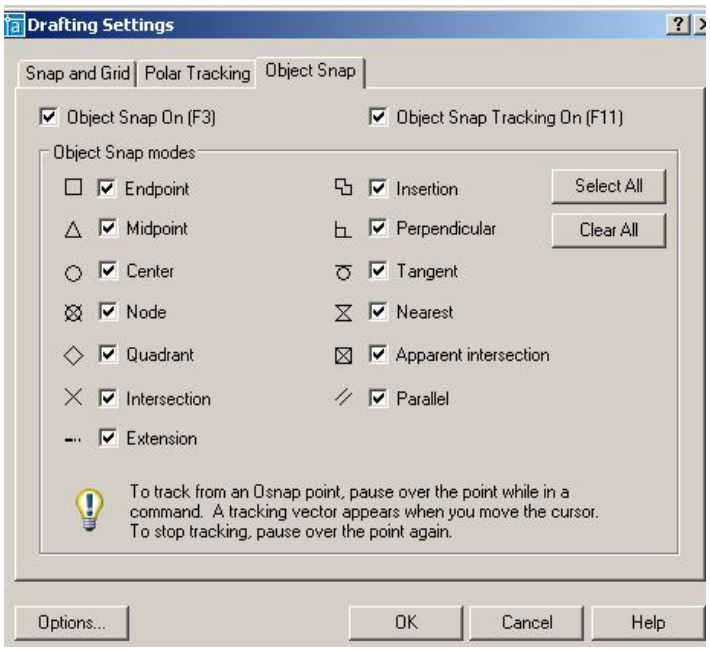
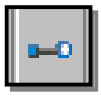


Рис. 44.

Перед применением этого способа необходимо настроить и включить режим ***Osnap***. Настройка осуществляется в диалоговом окне режимов черчения ***Drafting Settings*** (Настройки эскиза) выпадающего меню ***Tools*** (Инструменты), которое также может быть вызвано на экран командой ***OSNAP*** или нажатием правой кнопки мыши при указании на индикатор режима в строке состояния (рис. 44). В системе предусмотрена возможность временного отключения постоянного режима ***Osnap***, для чего достаточно щелкнуть на индикаторе ***Osnap*** в строке состояния.

Для одноразового использования какого-либо инструмента из набора объектных привязок в процессе выполнения команды используют контекстное меню, которое вызывают, удерживая клавишу ***SHIFT*** и нажимая правую кнопку мыши при нахождении графического курсора в рабочей зоне окна ***AutoCAD***.

Инструменты режима объектной привязки перечислены ниже:



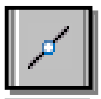
– ***Temporary Tracking Point*** (Точка отслеживания) – привязка к временной линии, проведённой через выбранную точку параллельно одной из осей координат;



– ***Snap From*** (Смещение) – привязка к точке, находящейся на заданном расстоянии от указанной точки (сначала выбирают любую точку, а затем вводят с клавиатуры расстояние или координаты точки, к которой нужна привязка);



– ***Snap to Endpoint*** (Привязка к конечной точке) – привязка к конечной точке линии, дуги, границы области, трёхмерного тела;



– ***Snap to Midpoint*** (Привязка к средней точке) – привязка к средним точкам объектов (отрезков, дуг и т. п.);



– ***Snap to Intersection*** (Привязка к пересечению) – привязка к точке пересечения двух объектов;



– ***Snap to Apparent Intersection*** (Привязка к предполагаемому пересечению) – привязка к воображаемой или предполагаемой точке пересечения линий или границ областей;



– ***Snap to Extension*** (Привязка к продолжению) - привязка к точке, лежащей на продолжении линии или дуги;



– ***Snap to Center*** (Привязка к центру) – привязка к центру окружности, дуги или эллипса (необходимо указывать на линию дуги или окружности или эллипса, а не на их центр);



– ***Snap to Quadrant*** (Привязка к квадранту) – привязка к ближайшему квадранту (точке, расположенной под углом 0^0, 90^0, 180^0 или 270^0 от центра) дуги, окружности или эллипса;



– ***Snap to Tangent*** (Привязка к касательной) – привязка к точке на дуге, окружности, эллипсе или сплайне, которая при соединении с последней точкой образует касательную к выбранному объекту;



– ***Snap to Perpendicular*** (Привязка к перпендикуляру) – привязка к точке на линии, окружности, эллипсе, сплайне или дуге, которая при соединении с последней точкой образует нормаль к выбранному объекту;



– ***Snap to Parallel*** (Привязка к параллели) – привязка объектов к точке на линии, которая при соединении с последней точкой образует линию, параллельную выбранному отрезку;



– ***Snap to Insert*** (Привязка к точке вставки) – привязка к точке вставки блока, формы, текста;



– ***Snap to Node*** (Привязка к узлу) – привязка к точке, сформированной командой ***Point*** (Точка);



– ***Snap to Nearest*** (Привязка к ближайшей) – привязка к произвольной точке примитива (на линии, дуге, окружности и др.), являющейся ближайшей к позиции перекрестия графического курсора;

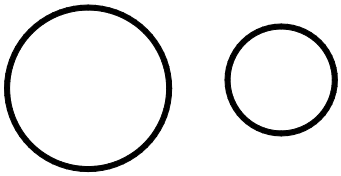
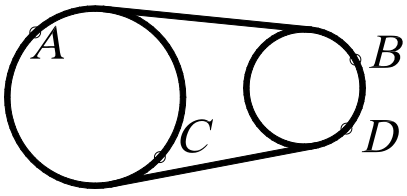


– ***None*** (Ничего) – этот режим отменяет на одну команду все текущие режимы объектных привязок;



– ***Object Snap Sitting*** (Установка объектных привязок) – установка режима объектной привязки.

Выполнить упражнения № 47, 48, 49, 50 (вначале задайте исходные примитивы, показанные в левой части упражнения).

Построить касательные к окружностям	***№ 47***
 ***Line*** Падающее меню ***Draw → Line***	
Specify first point: объектная привязка tangent  указать A (или C)	
Specify next point or [Undo]: объектная привязка tangent  указать B (или D) Specify next point or [Undo]: <ENTER>.	
	

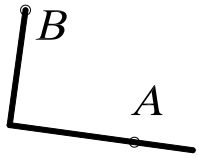
Восстановить перпендикуляр к концу отрезка	*№ 48*



Line Падающее меню ***Draw → Line***

Specify first point: объектная привязка perpendicular  указать A
Specify next point or [Undo]: указать B
Specify next point or [Undo]: <ENTER>.





Привязка к точке предполагаемого пересечения примитивов	*№ 49*

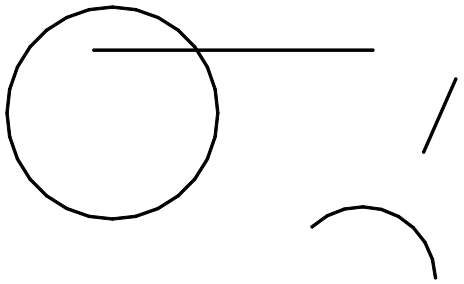


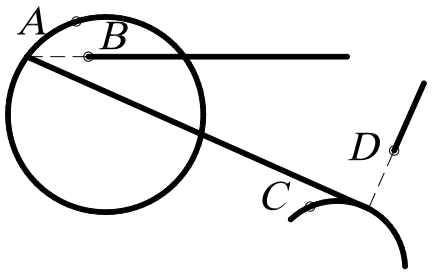
Line Падающее меню ***Draw → Line***

Specify first point: об. привязка Apparent Intersection  указать A, B

Specify next point or [Undo]: об. привязка Apparent Intersection  указать C, D

Specify next point or [Undo]: <ENTER>.





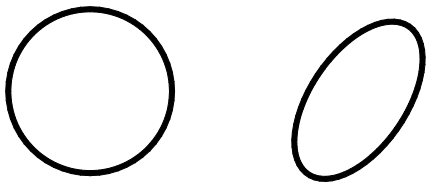
Привязка к центру окружности и эллипсу	*№ 50*

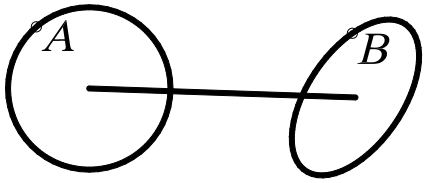


Line Падающее меню ***Draw → Line***

Specify first point: об. привязка  Center указать A

Specify next point or [Undo]: об. привязка  Center указать B
Specify next point or [Undo]: <ENTER>.





18. ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ *Modify*
(Изменить или редактировать)

Ни один чертёж не удается выполнить без корректировки. Вносить изменения в чертёж приходится по различным причинам. Некоторые процедуры редактирования являются частью процесса построения чертежа, например, копирование объекта вместо его повторного вычерчивания. Другие операции приводят к изменению большого количества объектов, на-

пример перенос целого фрагмента чертежа, если необходимо освободить место в графическом поле для новых объектов. Часто возникает потребность в удалении каких-то фрагментов, переносе повороте или изменении масштаба. Каждой из этих операций в наборе команд ***AutoCAD*** соответствует отдельная команда или набор команд, которые вызываются с помощью панели инструментов ***Modify*** (рис. 45) или с помощью падающего меню ***Modify*** (Редактировать).

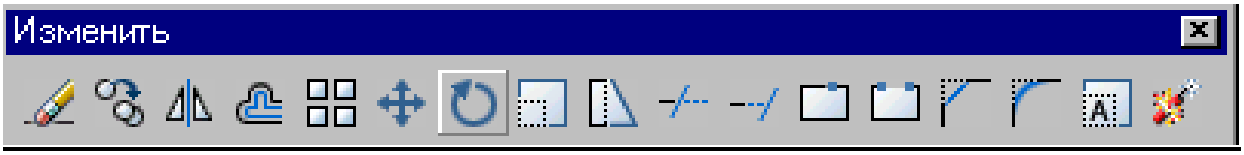


Рис. 45.

Для выполнения команд редактирования необходимо вначале выбрать эти объекты. Выбранная группа объектов называется *набором*, который состоит из одного или нескольких объектов. Набор объектов можно создавать как до, так и после вызова команды редактирования. Как только вызвана одна из команд редактирования, ***AutoCAD*** предлагает выбрать объекты. В командной строке появляется запрос ***Select objects:*** (Выберите объекты:). При этом перекрестье курсора заменяется прицелом выбора. Выбирать объекты можно с помощью предполагаемой рамки, с помощью курсора и др. Далее рассматриваются команды и примеры выполнения редактирования объектов. В примерах сначала создайте примитивы, показанные на рисунках слева, а затем редактируйте эти объекты.

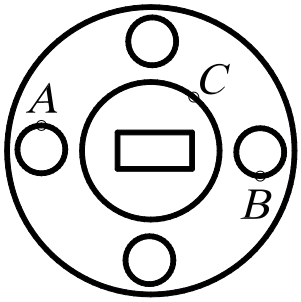
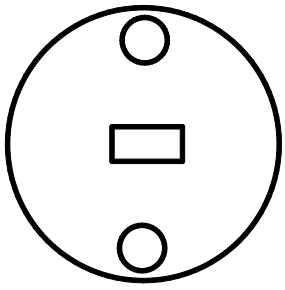
18.1. УДАЛЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ



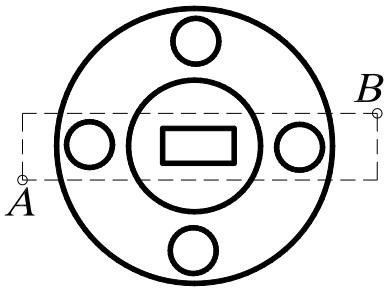
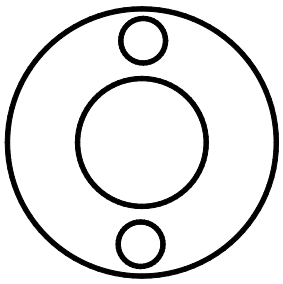
– Команда ***Erase*** (Стереть) – удаляет графический примитив и вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Erase*** (Стереть) или щелчком мыши по пиктограмме ***Erase*** (Стереть) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

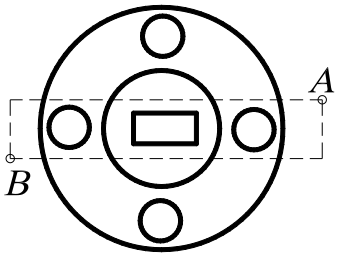
Для восстановления удаленных объектов последней командой ***Erase*** (Стереть) используется команда ***OOPS*** (Ой), название которой переводится на русский язык как «ой» и может пригодиться чересчур «активным» пользователям.

Выполнить упражнения № 51-53 (вначале задайте исходные примитивы, показанные в левой части упражнения).

Удалить набор примитивов, используя точечный выбор	***№ 51***
Erase Падающее меню ***Modify*** → ***Erase*** Select objects: указать курсором объект A Select objects: указать курсором объект B Select objects: указать курсором объект C Select objects: <ENTER> *OOPS* - восстановить последний удаленный объект C.	
	

Выбор геометрических объектов может производиться с помощью рамки. Если указать первый угол рамки, а затем второй угол в направлении слева направо, то выбираются объекты, которые полностью попали в рамку. Если же указать первый угол рамки, а затем второй угол в направлении справа налево, то секущая рамка выбирает все объекты, которые находятся внутри или пересекают контур рамки.

Удалить набор примитивов, выбирая их рамкой	***№ 52***
Erase Падающее меню ***Modify*** → ***Erase*** Select objects: указать точку A Select objects: указать точку B Select objects: <ENTER>	
	

Удалить набор примитивов, выбирая их рамкой	***№ 53***
Erase Падающее меню ***Modify*** → ***Erase*** Select objects: указать точку A Select objects: указать точку B Select objects: <ENTER>	
	

18.2. КОПИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ



– Команда ***Copy*** (Копировать) – копирует выбранные объекты и вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Copy*** (Копировать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Copy*** (Копировать) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Команда позволяет создавать множество копий одного или нескольких объектов. При её применении последний запрос требует указания точки смещения (или расстояния) относительно базовой точки. После получения нужного числа копий в ответ на запрос нажать клавишу Enter.

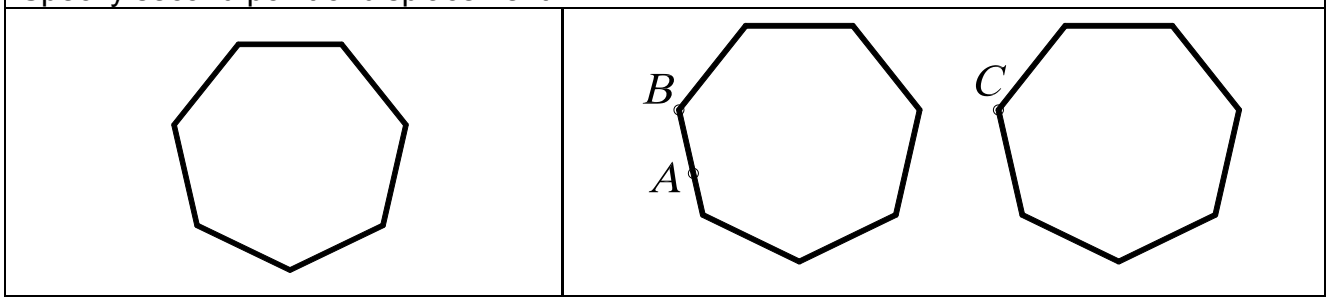
Выполнить упражнение № 54.

Скопировать объект	*№ 54*



Copy Падающее меню ***Modify*** → ***Copy***

Select objects: указать A
Select objects: ENTER
Specify base point or displacement: указать базовую точку B с использованием любой объектной привязки
Specify second point of displacement or
<use first point as displacement>: указать новое положение объекта – точку C
(или задавая расстояние BC с указанием направления курсора)
Specify second point of displacement: <ENTER>



18.3. ЗЕРКАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ



– Команда ***Mirror*** (Зеркало) – зеркально отображает выбранный объект или набор объектов, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Mirror*** (Зеркало) или щелчком мыши по пиктограмме ***Mirror*** (Зеркало) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Замечания:

1. Ось симметрии (отрезок, положение которого определяется первой и второй точками) может проходить под любым углом к горизонтальной линии.
2. Ось симметрии может быть предполагаемым отрезком, то есть не обязательно его вычерчивать.
3. При выполнении команды ***Mirror*** (Зеркало) рекомендуется в строке состояния установить режим ***Orto***, так как в большинстве случаев оси симметрии ортогональны.
4. При зеркальном отображении участков чертежа, содержащего текст, последний становится трудночитаемым. Чтобы устранить данный недостаток, необходимо предварительно установить значение системной переменной MIRRTEXT равным нулю (то есть в командной строке написать слово MIRRTEXT и затем в следующей строке на запрос Enter new value for MIRRTEXT <0>: установить значение 0).
5. При выполнении команды ***Mirror*** (Зеркало) можно исходные объекты (оригиналы) сохранять или удалять. При этом на запрос команды Delete source objects? [Yes/No] <N>: указать Yes.

Выполнить упражнение № 55.

Зеркально отобразить объект	*№ 55*



Mirror Падающее меню ***Modify*** → ***Mirror***

Select objects: выбрать объекты, показанные на рисунке толстыми линиями

Select objects: ENTER

Specify first point of mirror line: указать точку A,

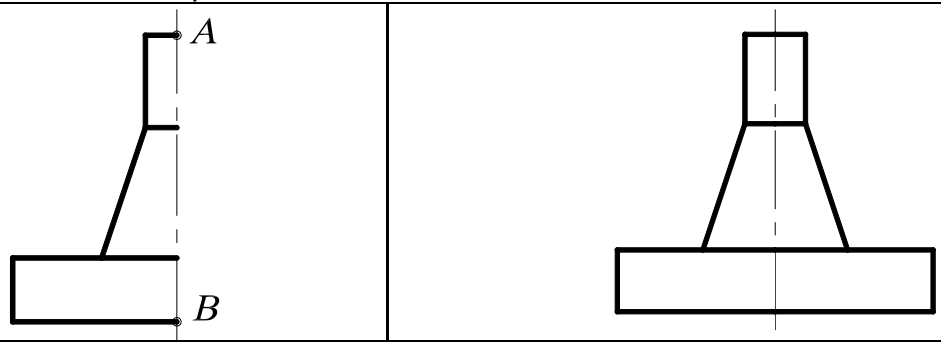
используя любой удобный режим об. привязки

Specify second point of mirror line: указать точку B,

используя любой удобный режим об. привязки

Delete source objects? [Yes/No] <N>: <ENTER>

Если на последний запрос команды ответить Y, то исходный объект не сохранится.



18.4. ПОСТРОЕНИЕ ПОДОБНЫХ ПРИМИТИВОВ



– Команда ***Offset*** (Подобие) – строит примитив, подобный другому графическому примитиву (строит эквидистантные линии); вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Offset*** (Подобие) или щелчком мыши по пиктограмме ***Offset*** (Подобие) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование). Новый, подобный примитив проходит через заданную точку на чертеже или на заданном расстоянии от исходного.

Первый запрос системы в ответ на команду Specify offset distance or [Through] <Through>: (Задайте величину постоянного смещения каждого объекта или…<значение по умолчанию>)

Если выбрать режим Through, то подобный объект будет построен проходящим через заданную впоследствии точку на чертеже.

Если выбрать режим Offset, то системе необходимо указать величину смещения (ввести числовое значение с помощью клавиатуры) и позицию относительно примитива-оригинала. Подобный элемент будет построен на заданном смещении от оригинала и в нужную сторону от него. По умолчанию система всегда предлагает тот режим использования данной команды, который был применен в предыдущий раз.

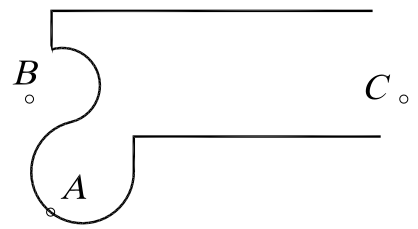
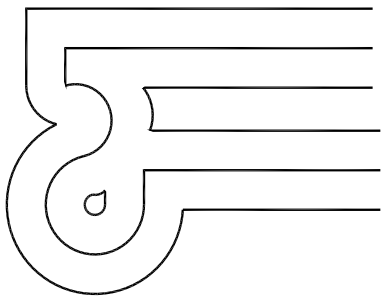
Замечания:

1. Для использования с командой ***Offset*** (Подобие) можно выбирать дуги, окружности, эллипсы, отрезки, лучи, прямые полилинии, сплайны, при этом указанные примитивы трансформируются следующим образом:
   - дуга – новая дуга имеет центральный угол и точку центра исходной дуги, однако длина дуги изменяется;
   - окружность, эллипс – новые объекты имеют центр исходных объектов, однако их радиусы изменяются;
   - отрезки, лучи, прямые – новые объекты являются дубликатами исходных;
   - полилинии – конечные точки новой полилинии размещаются вдоль нормали, направленной к соответствующим точкам исходной полилинии, в результате чего изменяются длины линейных и дуговых сегментов новой полилинии;

- сплайн – конечные точки нового сплайна размещаются вдоль нормали, направленной к соответствующим конечным точкам исходного сплайна, в результате чего изменяются длина и форма нового сплайна.

2. Для создания подобных объектов можно одновременно выбирать только один объект, причем разрешен только явный выбор.
3. Нельзя трансформировать объекты, находящиеся в плоскости, не параллельной текущей ПСК.

Выполнить упражнение № 56.

Построить эквидистанту полилинии	***№ 56***
Offset Падающее меню ***Modify*** → ***Offset*** Specify offset distance or [Through] <Through>: 10 величина смещения Select object to offset or <exit>: указать объект A Specify point on side to offset: указать точку B (сторону смещения) Select object to offset or <exit>: указать объект A Specify point on side to offset: указать точку C (сторону смещения) Select object to offset or <exit>:<ENTER>	
	

18.5. РАЗМНОЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МАССИВОМ

Команда ***Array*** (Массив) – тиражирует изображение графического примитива или их группы в заданной прямоугольной или круговой структуре, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Array*** (Массив) или щелчком мыши по пиктограмме ***Array*** (Массив) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

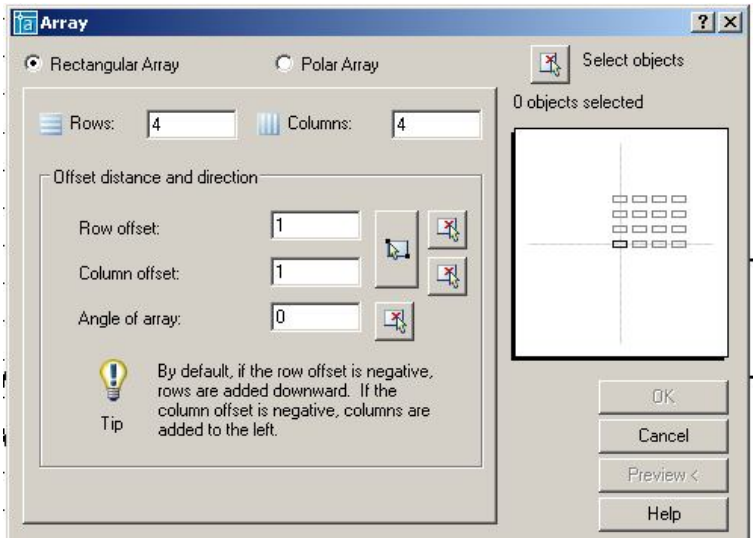


Рис. 46.

В ответ на команду система открывает диалоговое окно ***Array*** (рис. 46). Окно содержит две кнопки выбора, информационное поле, панель и кнопку.

- Кнопка выбора ***Rectangular Array*** устанавливает копирование выбранных объектов в виде прямоугольного массива.
- Кнопка выбора ***Polar Array*** устанавливает копирование выбранных объектов в виде кругового массива.
- Кнопка ***Select Object*** позволяет перейти в режим указания объектов, массив из которых необходимо создать.
- Информационное поле отображает вид создаваемого массива.

Панель служит для ввода параметров массива. В зависимости от выбора пользователя ***Rectangular Array*** или ***Polar Array*** состав компонентов панели изменяется. В режиме создания массива панель ввода параметров содержит следующие компоненты.

- Поле ввода ***Rows*** служит для задания числа строк прямоугольного массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Columns*** служит для задания числа столбцов прямоугольного массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Rows offset*** служит для задания расстояния между строками массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Column offset*** служит для задания расстояния между столбцами массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Angle of array*** служит для задания угла наклона осей, вдоль которых строится массив. Поле снабжено контекстным меню.
- Кнопка ***Pick Both Offset*** позволяет задать расстояния между строками и столбцами массива, указав на графическом поле две произвольные точки. При этом расстояние между строками равно разности координат указанных точек вдоль оси ***x***, а расстояние между столбцами – разности координат указанных точек вдоль оси ***y***.
- Кнопка ***Pick Row Offset*** позволяет задать расстояния между строками массива, указав на графическом поле две произвольные точки.
- Кнопка ***Pick Column Offset*** позволяет задать расстояния между столбцами массива, указав на графическом поле две произвольные точки.
- Кнопка ***Pick Angle of Array*** позволяет задать угол наклона осей массива, расстояния между строками массива, указав на графическом поле две произвольные точки.

В режиме создания полярного массива панель ввода параметров содержит следующие компоненты (рис. 47).

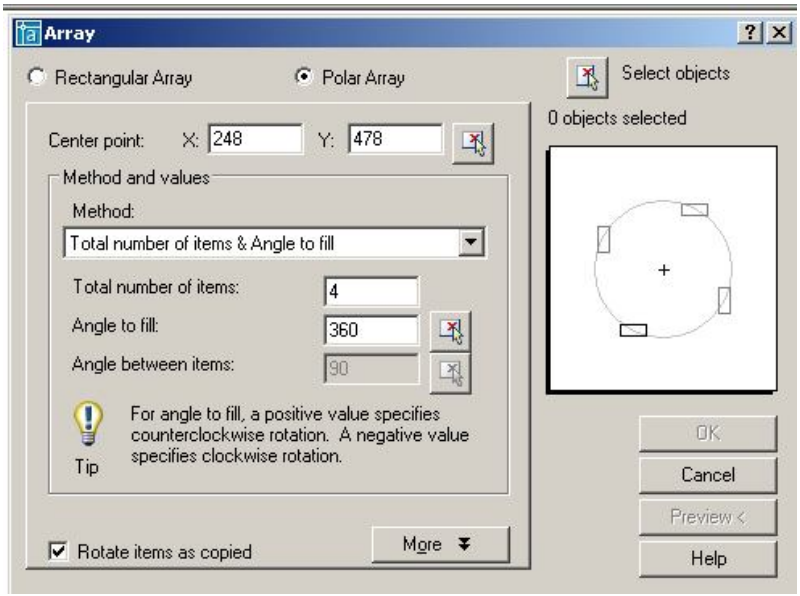


Рис. 47.

- Поля ***Center X:***, ***Y:*** служат для задания координат центра массива. Поля снабжены контекстным меню.
- Кнопка ***Center Pick Point*** позволяет задать центр массива, указав на графическом поле произвольную точку (можно использовать объектную привязку).

- Раскрывающийся список ***Method*** позволяет выбрать режим создания полярного массива:

  -***Total number of items & Angle to fill*** – создание массива с определённым числом элементов, равномерно распределённых в пределах заданного угла;

  -***Total number of items & Angle between items*** - создание массива с определенным числом элементов и заданным угловым шагом;

  -***Angle to fill & Angle between items*** – создание массива элементов, расположенных в пределах определённого угла с заданным угловым шагом.
- Поле ввода ***Total number of items*** служит для задания общего числа элементов массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Angle to fill*** служит для задания угла, в пределах которого размещаются элементы массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Поле ввода ***Angle between items*** служит для задания углового шага между элементами массива. Поле снабжено контекстным меню.
- Флажок ***Rotate items as copie***d разрешает режим, при котором объекты создаваемого массива поворачиваются на соответствующий угол.
- Кнопка ***More*** открывает дополнительную панель ***Object base point***, позволяющую задать положение базовой точки объекта (точки, расстояние до которой от центра массива остается постоянным).

Панель ***Object base point*** содержит следующие компоненты.

- Флажок ***Set to object's default*** разрешает использовать режим определения базовой точки, принятой для данного объекта по умолчанию:

  -точка центра для окружностей и эллипсов;

  -первый угол для многоугольников и прямоугольников;

  -начальная точка для линий, полилиний, сплайнов и лучей;

  -точка вставки для блоков и текста;

  -средняя точка для конструкционных линий.
- Поля ввода ***Base point X:***, ***Y:*** служат для задания координат базовой точки объекта, которая отличается от принятой по умолчанию.
- Кнопка ***Pick Base Point*** позволяет задать базовую точку объекта, указав на графическом поле произвольную точку.

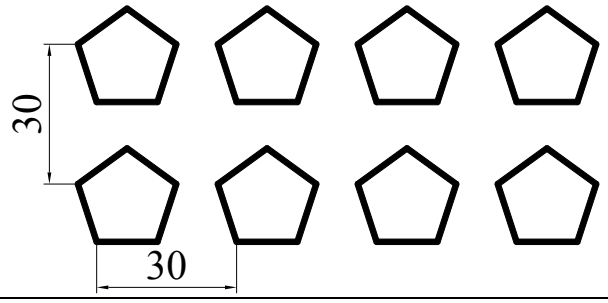
После задания всех необходимых параметров и выбора кнопки ***OK*** система производит построение массива элементов и завершает работу с командой. Кнопка ***Preview*** позволяет предварительный просмотр построенного массива, изображение которого можно редактировать или согласиться с тем, которое построено, нажав кнопку ***OK***.

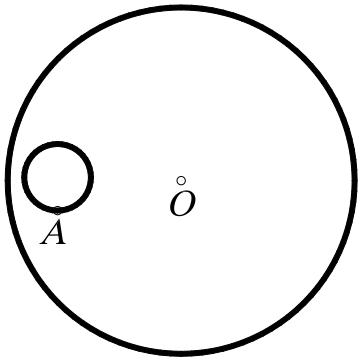
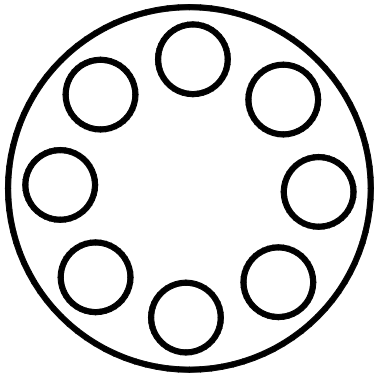
Замечания:

1. Команда позволяет выбрать объекты как после ее задания, так и до ее задания.
2. Каждый элемент массива можно редактировать независимо от других элементов.
3. Прямоугольные массивы выравниваются по осям ***X*** и ***Y*** текущей системы координат.

Для многих пользователей системы ***AutoCAD*** привычнее и удобнее работа с командной строкой. В этом случае команда ***Array*** (Массив) вводится с префиксом ***–ARRAY*** или ***(-AR)***.

Выполнить упражнение № 57, 58 (вначале постройте исходный элемент, показанный в левой части упражнений).

Размножить объект прямоугольным массивом	***№ 57***
В командной строке с клавиатуры набрать ***–ARRAY*** или ***-AR*** Select objects: выбрать объект (пятиугольник) Select objects: Enter Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: Enter выбрать прямоугольный массив Enter the number of rows (---) <1>: 2 количество строк Enter the number of columns (|||) <1> 4 количество столбцов Enter the distance between rows or specify unit cell (---): 30 расстояние между строками Specify the distance between columns (|||): 30 расстояние между столбцами	
	

Размножить объект круговым массивом	***№ 58***
В командной строке с клавиатуры набрать ***–ARRAY (-AR)*** Select objects: выбрать объект A Select objects:Enter Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: P круговой режим Specify center point of array or [Base]: указать центр окружности O Enter the number of items in the array: 8 количество элементов Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>:360 или Enter угол заполнения элементами массива Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>: <ENTER>	
	

Параметры ввода массива в диалоговое окно для упражнения № 57 показаны на рис. 48, а для упражнения № 58 – на рис. 49.

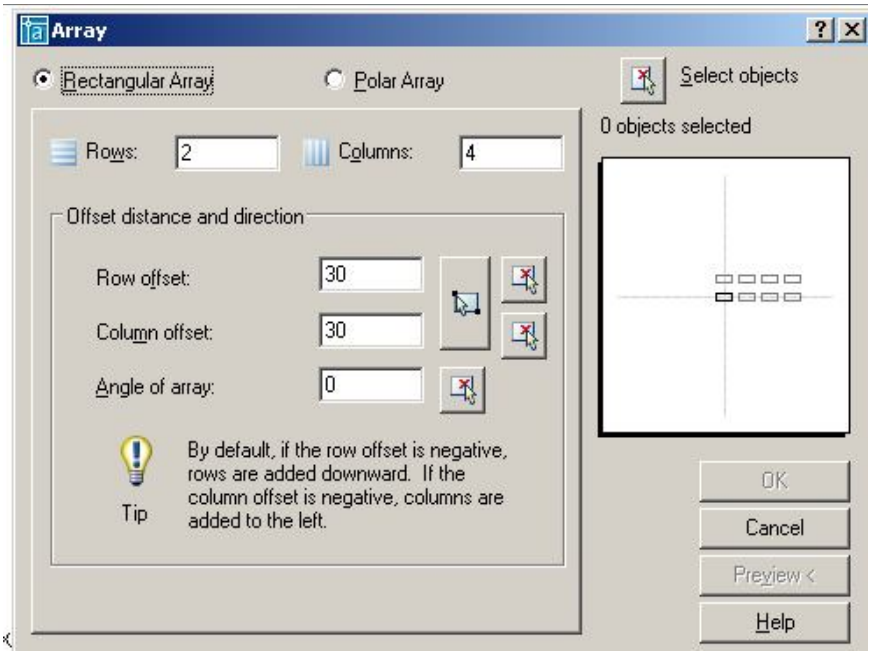


Рис. 48.

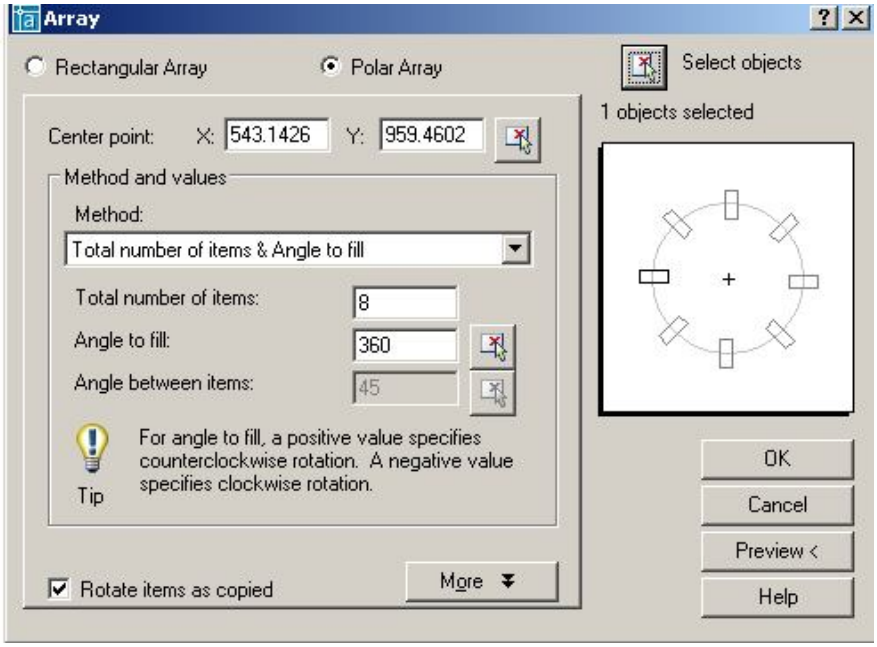


Рис. 49.

18.6. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ



- Команда ***Move*** (Перемещение) – перемещает выбранные объекты, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Move*** (Перемещение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Move*** (Перемещение) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Выполнить упражнение № 59.

Переместить окружности	*№ 59*



Move Падающее меню ***Modify*** → ***Move***

Select objects: указать A

Specify opposite corner: указать B

Select objects: Enter

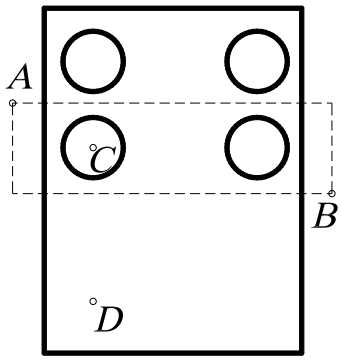
Specify base point or displacement: указать окружность в точке C с объектной привязкой Center

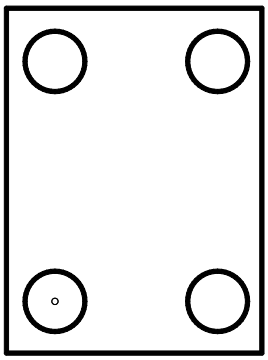


Specify second point of displacement or

<use first point as displacement>: указать точку D с объектной привязкой Node







18.7. ПОВОРОТ ОБЪЕКТОВ



- Команда ***Rotate*** (Повернуть) – поворачивает выбранные объекты вокруг указанной точки на заданный угол; вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Rotate*** (Повернуть) или щелчком мыши по пиктограмме ***Rotate*** (Повернуть) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование). По умолчанию отсчет значений углов ведется от положительного направления оси ***x***. Против часовой стрелки – положительное значение угла, по часовой стрелке – отрицательное.

Опция команды ***Reference*** (Опорный угол) используется, если необходимо повернуть объект относительно существующего угла. Для автоматического определения угла нужно указать на примитиве две точки с помощью объектной привязки.

Выполнить упражнения № 60, 61.

Повернуть объект	*№ 60*



Rotate Падающее меню ***Modify*** → ***Rotate***

Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0

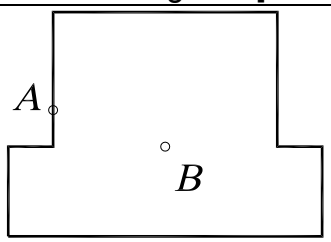
Select objects: указать объект A

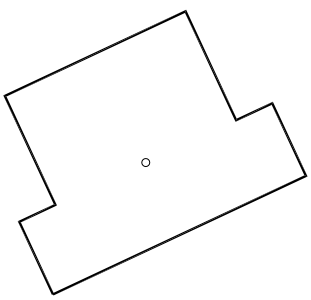
Select objects: Enter

Specify base point: указать центр поворота – базовую точку B с объектной привязкой Node



Specify rotation angle or [Reference]: 25 угол поворота





Повернуть объект со ссылкой на известный угол	*№ 61*



Rotate Падающее меню ***Modify*** → ***Rotate***

Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0

Select objects: указать объект A

Select objects: Enter

Specify base point: указать центр поворота точку B с объектной привязкой Intersection

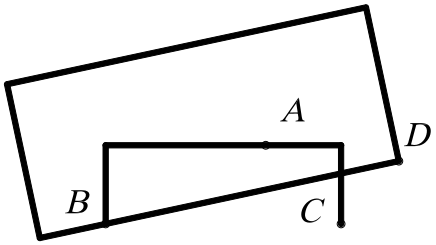


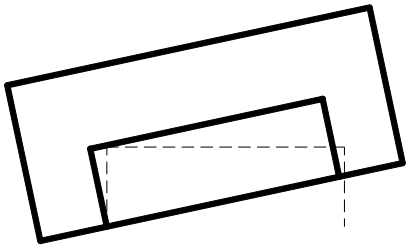
Specify rotation angle or [Reference]: R режим ссылки

Specify the reference angle <0>: указать точку B с объектной привязкой

Specify second point: указать точку C с объектной привязкой

Specify the new angle: указать точку D с объектной привязкой.





18.8. МАСШТАБИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ



– Команда ***Scale*** (Масштаб) – пропорционально изменяет размеры объекта относительно заданной точки, умножая их на заданный коэффициент масштаба, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Scale*** (Масштаб) или щелчком мыши по пиктограмме ***Scale*** (Масштаб) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

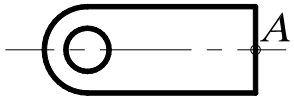
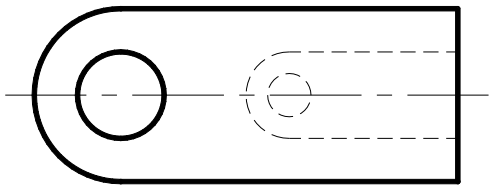
При масштабировании объектов масштабные коэффициенты по осям ***x*** и ***y*** одинаковы. Таким образом, можно делать объект больше или меньше, но нельзя изменять соотношение его размеров по этим осям. Масштабирование выполняется путем указания базовой точки и новой длины объекта, из которой выводится масштабный коэффициент для текущих единиц, или путем явного ввода коэффициента. Кроме того, коэффициент может определяться путем указания текущей длины и новой длины объекта.

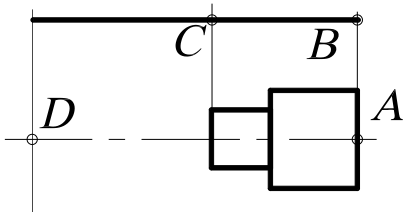
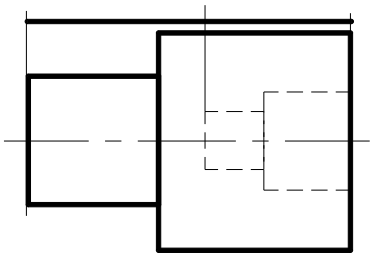
Опция ***Reference*** (Опорный отрезок) используется для определения коэффициента масштабирования с применением существующих объектов.

Одна из наиболее эффективных возможностей использования ***Reference*** (Опорный отрезок) – изменение масштаба всего рисунка. Если окажется, что выбранные единицы рисунка не соответствуют заданным требованиям, то для выбора всех объектов на рисунке (например, рамкой) можно сначала воспользоваться командой ***Scale*** (Масштаб), затем использовать опцию ***Reference*** (Опорный отрезок), указать два конца объекта, требуемая длина которого известна, и ввести эту длину. В результате масштаб всех объектов на рисунке пропорционально изменится соответствующим образом. Для автоматического определения исходной длины нужно указать на объекте с помощью объектной привязки две точки.

При использовании команды ***Scale*** (Масштаб) базовая точка не меняет своего положения при изменении размеров объекта.

Выполнить упражнения № 62, 63.

Масштабировать объект	*№ 62*
 ***Scale*** Падающее меню ***Modify*** → ***Scale*** Select objects: выбрать заданный объект Select objects: Enter Specify base point: указать базовую точку A Specify scale factor or [Reference]: 2 коэффициент	
	

Масштабировать объект со ссылкой на заданную длину	*№ 63*
 ***Scale*** Падающее меню ***Modify*** → ***Scale*** Select objects: выбрать заданный объект любым способом Select objects: Enter Specify base point: указать базовую точку A Specify scale factor or [Reference]: R ссылка Specify reference length <1>: указать точку B Specify second point: указать точку C Specify new length: указать точку D	
	

18.9. РАСТЯГИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

 – Команда ***Stretch*** (Растянуть) – обеспечивает растягивание или сжатие объекта, не разрывая его, за счёт перемещения отдельных его частей, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Stretch*** (Растянуть) или щелчком мыши по пиктограмме ***Stretch*** (Растянуть) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

После запуска команды необходимо выбрать объекты. Выбор объектов осуществляется секущей рамкой, которая получается при движении курсора справа налево. При выполнении команды все объекты, которые попали внутрь секущей рамки, переносятся на одно и то же расстояние, а те, которые не попали, остаются на месте.

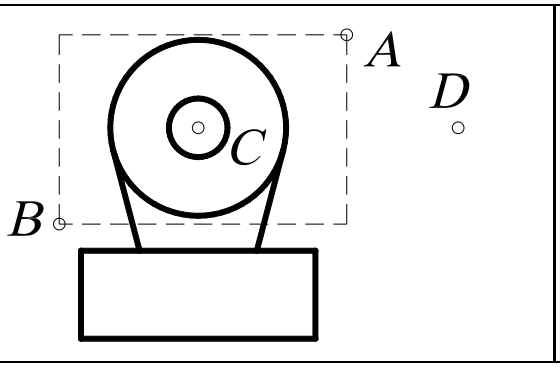
Под действие команды ***Stretch*** (Растянуть) попадают следующие типы объектов: отрезки, полилинии, дуги, лучи, сплайны, эллиптические дуги, размеры. Объекты – круг, текст, блок – растягивать нельзя.

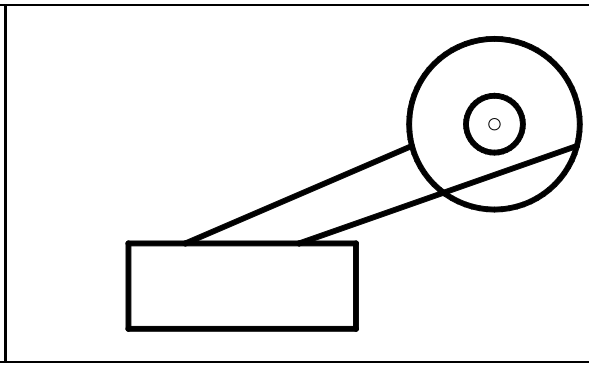
Выполнить упражнение № 64.

Растянуть объект со смещением вправо	*№ 64*

Stretch Падающее меню ***Modify*** → ***Stretch***

Select objects to stretch by crossing-window or crossing-polygon...
Select objects: выбрать объекты секущей рамкой
(растягивая её справа налево), указать точку A
Specify opposite corner: указать точку B
Select objects: Enter
Specify base point or displacement: указать точку C (применяя об. привязку к центру)
Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: указать точку D





18.10. ПОДРЕЗАНИЕ ОБЪЕКТОВ

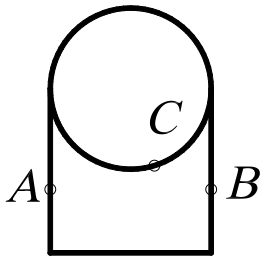
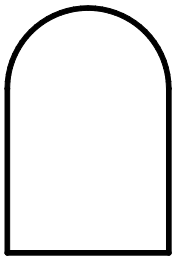
– Команда ***Trim*** (Обрезать) – удаляет часть графического объекта, обрезая его по заданной режущей кромке, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Trim*** (Обрезать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Trim*** (Обрезать) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Прежде чем удалить лишние фрагменты – подрезать объект, необходимо определить *режущую кромку*. Режущей кромкой могут служить отрезки, дуги, окружности, двумерные полилинии, эллипсы, сплайны, прямые, лучи. Можно выбирать несколько режущих кромок и подрезать несколько объектов одновременно. В пространстве листа режущими кромками могут быть границы видовых экранов. После определения объектов, которые будут использованы в качестве режущих кромок, выбираются объекты для подрезания. При этом перечисляются следующие опции команды.

- ***Select object to trim*** (Выберите объекты для подрезания). Эта опция предлагается по умолчанию. Нужно выбрать любым известным способом те объекты, которые нужно откорректировать, при этом каждый объект должен быть указан с того конца, который нужно удалить.
- ***Project*** (Проекция). Эта опция определяет режим отсечения объектов по пересечению проекции объектов с границей в трехмерном пространстве:
  - ***None*** (Никакой) – режущая кромка не проектируется, она должна явно (физически) пересекать корректируемый объект;
  - ***UCS*** (ПСК) – кромка проектируется на координатную плоскость ***XY*** текущей пользовательской системы координат. Фактически при этом в качестве режущей кромки используется плоскость, нормальная к плоскости ***XY*** текущей ПСК;
  - ***View*** (Вид) – режущая кромка и подрезаемый объект проектируются на плоскость экрана в текущем виде.
- ***Edge*** (Кромка) определяет режим поиска пересечения:
  - ***Extend*** (Удлинить) – выполняет удлинение режущей кромки до воображаемого пересечения с корректируемым объектом;

- ***No Extend*** (Не удлинять) – отсечение объектов по границе, с которой они имеют пересечение.

Выполнить упражнение № 65.

Отсечь часть окружности	***№ 65***
Trim Падающее меню ***Modify*** → ***Trim*** Current settings: Projection=UCS, Edge=None Select cutting edges ... Select objects: указать режущую кромку, выбрав объекты A и B Select objects: Enter Select object to trim or shift-select to extend or [Project/Edge/Undo]: указать объект C Select object to trim or shift-select to extend or [Project/Edge/Undo]: <ENTER>	
	

18.11. УДЛИНЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

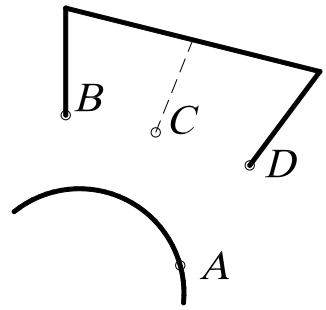
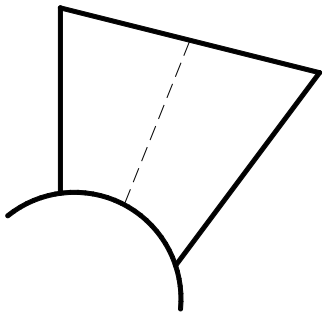
 – Команда ***Extend*** (Удлинить) – удлиняет объекты до пересечения с указанной линией, вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Extend*** (Удлинить) или щелчком мыши по пиктограмме ***Extend*** (Удлинить) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Методика выполнения удлинения объектов мало отличается от подрезания. Разница только в том, что вместо режущей кромки задается *граничная кромка*. Удлинять командой ***Extend*** (Удлинить) можно отрезки, незамкнутые полилинии, дуги, лучи, эллиптические дуги. Граничными кромками могут служить отрезки, дуги, двумерные полилинии. Удлиняемые объекты выбираются, если указать на ту часть, которая должна удлиняться. Объекты нельзя выбирать рамкой.

В процессе выполнения команды ***Extend*** (Удлинить)используются те же приглашения, что и для ***Trim*** (Обрезать). Первое приглашение ***Select boundary edges*** касается выбора объектов, которые будут использованы в качестве граничной кромки. Для задания способа интерпретации граничных кромок предлагается использовать такие же опции, как и при выполнении подрезания.

- ***Project*** (Проекция). Эта опция позволяет определить, каким образом ***AutoCAD*** будет проектировать граничную кромку при выполнении операции на трехмерной модели:
  - ***None*** (Никакой) – граничная кромка не проектируется, она должна явно (физически) пересекать продолжение корректируемого объекта;
  - ***UCS*** (ПСК) – кромка проектируется на координатную плоскость ***XY*** текущей пользовательской системы координат. Фактически при этом в качестве режущей кромки используется плоскость, нормальная к плоскости ***XY*** текущей ПСК;
  - ***View*** (Вид) – граничная кромка и удлиняемый объект проектируются на плоскость экрана в текущем виде.
- ***Edge*** (Кромка) определяет режим поиска пересечения:
  - ***Extend*** (Удлинить) – выполняет удлинение объекта до воображаемой продолженной границы;
  - ***No Extend*** (Не удлинять) – удлинение объектов до границы без её удлинения.

Выполнить упражнение № 66.

Удлинить отрезки до границы дуги	***№ 66***
Extend Падающее меню ***Modify*** → ***Extend*** Current settings: Projection=UCS, Edge=None Select boundary edges ... Select objects: указать граничную кромку, выбрав объект A Select objects: Enter Select object to extend or shift-select to trim or [Project/Edge/Undo]: указать точку B Select object to extend or shift-select to trim or [Project/Edge/Undo]: указать точку C Select object to extend or shift-select to trim or [Project/Edge/Undo]: указать тоску D Select object to extend or shift-select to trim or [Project/Edge/Undo]: <ENTER>	
	

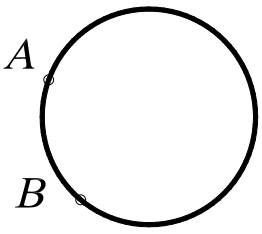
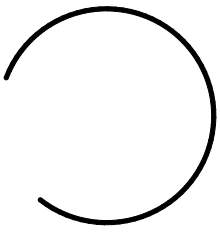
Если задано несколько граничных кромок, то объект удлиняется до тех пор, пока не достигнет первой граничной кромки. Этот объект можно выбрать вновь, чтобы удлинить его до следующей граничной кромки.

18.12. РАЗБИЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ЧАСТИ

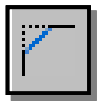
– Команда ***Break*** (Разорвать) – осуществляет разрыв отрезка, полилинии, дуги, окружности, эллипса, сплайна, прямой. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Break*** (Разорвать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Break*** (Разорвать) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Для разбиения объекта на части можно выбрать объект в первой точке разрыва, а затем указать вторую точку разрыва.

Выполнить упражнение № 67.

Расчленить и удалить часть окружности	***№ 67***
Break Падающее меню ***Modify*** → ***Break*** Select object: указать точку разрыва A Specify second break point or [First point]: указать точку разрыва B	
	

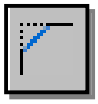
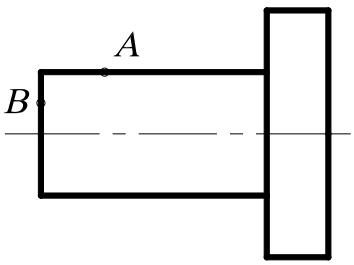
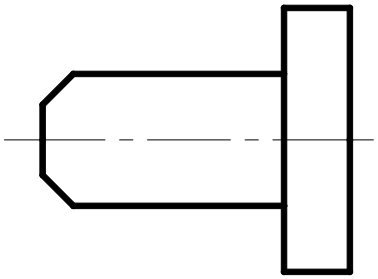
18.13. ВЫЧЕРЧИВАНИЕ ФАСОК

 – Команда ***Chamfer*** (Фаска) – снимает фаску с угла, образованного полилинией, лучами или пересечением двух отрезков. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Chamfer*** (Фаска) или щелчком мыши по пиктограмме ***Chamfer*** (Фаска) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Эта команда может использоваться и для редактирования трехмерных тел. Если создается фаска, она определяется либо двумя катетами, либо одним катетом и углом фаски по отношению к одной из кромок.

Процесс создания фаски состоит из двух шагов. Сначала задаются параметры фаски. Это могут быть либо два катета, либо один катет и угол фаски. После ввода значений ***AutoCAD*** завершит команду ***Chamfer*** (Фаска). После этого нужно снова запустить эту команду и выбрать два отрезка, представляющие кромки, между которыми создается фаска. ***AutoCAD*** создаст фаску, используя полученную на предыдущем этапе информацию.

Выполнить упражнения № 68.

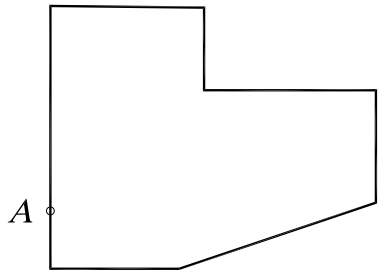
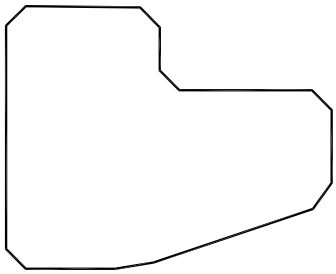
Построить фаски объекта	***№ 68***
 ***Chamfer*** Падающее меню ***Modify*** → ***Chamfer*** (TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 0.0000, Dist2 = 0.0000 Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method/mUltiple]: D режим задания фаски по двум катетам Specify first chamfer distance <0.0000>: 7 длина одного катета Specify second chamfer distance <7.0000>: Enter <по умолчанию> длина второго катета Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method/mUltiple]: указать отрезок A Select second line: указать отрезок B Аналогично построить фаску с другой стороны.	
	

Ниже описаны опции команды ***Chamfer*** (Фаска).

- ***Select first line*** (Выберите первую кромку). Указать первую из двух кромок. В плоских чертежах ею является линия, а в трехмерных моделях – ребро тела. После этого последует приглашение выбрать вторую кромку.
- ***Polyline*** (Полилиния). При выборе этой опции, которая доступна только в том случае, если выбранным объектом является полилиния, на всех углах между последовательными сегментами будет вычерчена линия фаски. Построенные вдоль полилинии фаски становятся её новыми сегментами, даже если их длина равна нулю. Пример нанесения фасок на полилинию будет представлен ниже.
- ***Distance*** (Катет). Эта опция используется для формирования фаски по значениям длин двух катетов. В этом случае задается сначала длина одного катета, а затем другого.
- ***Angle*** (Угол). Позволяет задать длину одного катета и угла скоса между фаской и линией кромки.

- ***Trim*** (Обрезать). Позволяет задать режим обработки двух объектов, то есть разрешает обрезать ненужные линии или нет, до снятия фаски. Если нужно обрезать, то первая линия отсекает на величину первого расстояния, вторая – на величину второго. Если расстояние равно 0, то происходит подгонка в одну точку. По умолчанию соединяемые фаской объекты обрезаются.
- ***Method*** (Метод) – позволяет выбрать один из методов задания размеров фасок: либо двумя расстояниями, либо расстоянием и углом.

Выполнить упражнения № 69.

Вычертить фаски на углах сегментов полилинии	***№ 69***
Chamfer Падающее меню ***Modify*** → ***Chamfer*** (TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 5.0000, Dist2 = 5.0000 Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method/mUltiple]: P режим полилинии Select 2D polyline: указать на полилинию в любой точке (например, в точке A) 7 lines were chamfered	
	

18.14. ПОСТРОЕНИЕ СОПРЯЖЕНИЙ УГЛОВ

 – Команда ***Fillet*** (Сопряжение) – скругляет или сопрягает объекты дугой заданного радиуса. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Fillet*** (Сопряжение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Fillet*** (Сопряжение) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

С помощью этой команды можно сопрягать объекты следующих типов: линия, полилиния, луч, конструкционная линия, которые на чертеже имеют вид прямых, причем сопрягаемые линии, которых могут быть и параллельными. Допускается сопрягать и криволинейные объекты типов дуга, окружность и эллипс.

Процесс сопряжения состоит из двух этапов. Сначала определяется радиус сопрягающей дуги. В качестве такового используется радиус последнего выполненного сопряжения. Если необходимо переназначить величину радиуса, выбирают опцию ***Radius*** и вводят новое значение. Затем выбирают два сопрягаемых отрезка. ***AutoCAD*** выполнит сопряжение отрезков в соответствии с имеющейся информацией.

Команда имеет четыре основанные опции.

- ***Select first object*** (выберите первый объект). Эта опция позволяет указать первый объект сопряжения, если выполняется редактирование плоских объектов, либо трёхмерное ребро, если выполняется плавное сопряжение на трёхмерной модели. После выбора первого объекта сопряжения выбирается второе. При работе с трехмерными моделями можно выбрать несколько ребер, которые будут сглажены поверхностью одного радиуса. В этом случае имеется еще три опции:

  - ***Select an edge*** (Выберите ребро). Эта опция позволяет выбрать дополнительно рабра трехмерной модели до тех пор, пока не будет нажата клавиша ***Enter***.

- ***Chain*** (Цепочка). Эта опция позволяет указать непрерывную последовательность ребер на одной грани, которые будут одинаково сглажены.
-***Radius*** (Радиус) – задание радиуса.

- ***Polyline*** (Полилиния). При выборе этой опции, которая доступна только в том случае, если выбранным объектом является полилиния, все углы между последовательными сегментами будут сопряжены дугами одного радиуса.
- ***Radius*** (Радиус). Эта опция позволяет задать значение радиуса. Изменение радиуса действует только на выполняемые после этого сопряжения, оставляя неизменными существующие.
- ***Trim*** (Обрезать). Позволяет задать режим обработки двух объектов, то есть разрешает обрезать ненужные линии или нет, до выполнения сопряжения. По умолчанию сопрягаемые объекты обрезаются.

Выполнить упражнения № 70 - 72.

Построить сопряжение отрезков ***№ 70***



Fillet Падающее меню ***Modify → Fillet***

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 0.0000

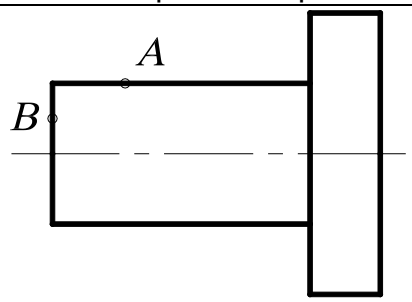
Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: R задать значение радиуса

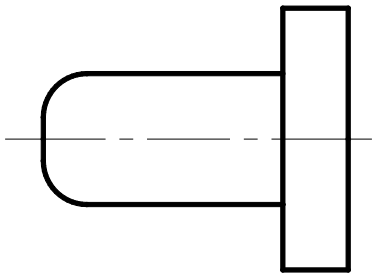
Specify fillet radius <0.0000>: 10 радиус скругления

Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: указать на отрезок в точке A

Select second object: указать на отрезок в точке B

Аналогично построить второе сопряжение.





Построить сопряжения на углах сегментов полилинии ***№ 71***



Fillet Падающее меню ***Modify → Fillet***

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 0.0000

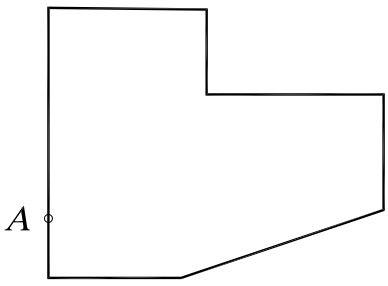
Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: R задать значение радиуса

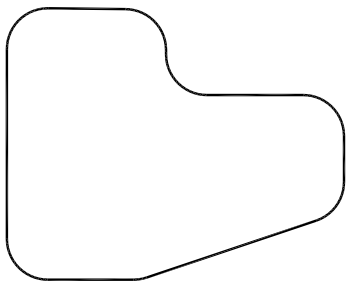
Specify fillet radius <0.0000>: 10 радиус скругления

Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: P режим полилинии

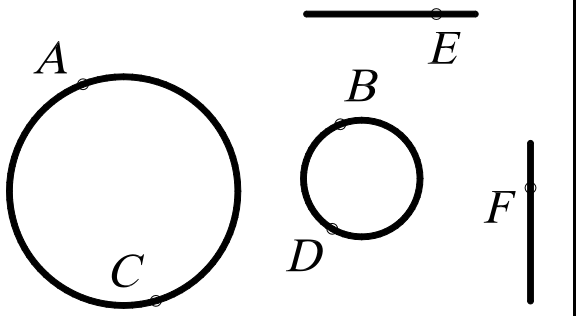
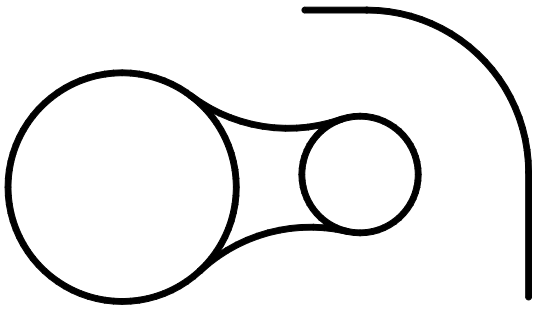
Select 2D polyline: указать на полилинию в любой точке (например, в точке A)

7 lines were filleted





Замечание. Если два отрезка параллельны, то между их концами вычерчивается полукруг, при этом радиус сопряжения автоматически устанавливается равным половине расстояния между отрезками.

Построить сопряжения заданных объектов	***№ 72***
Fillet Падающее меню ***Modify → Fillet*** Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000 Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: R задать значение радиуса Specify fillet radius <10.0000>: 30 радиус скругления Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: указать точку A (или C) Select second object: указать точку B (или D) FILLET Current settings: Mode = TRIM, Radius = 30.0000 Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: указать точку E Select second object: указать точку F.	
	

Замечание. Если радиус сопряжения задан нулевым, то система просто соединяет два непараллельных отрезка.

19. РЕДАКТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ МАРКЕРОВ GRIPS («РУЧКИ»)

При выделении объекта на поле чертежа на нем появляются маркеры ***Grips*** (Ручки) – характерные точки объекта (маленькие синие квадраты), обычно определяемые с помощью режима объектной привязки. Использование ручек позволяет минимизировать обращения к меню. Редактирование при включенном режиме ручек выполняется с помощью графического курсора.

Средство редактирования объектов ***Grips*** объединяет наиболее часто используемые команды редактирования: ***Stretch*** (Растянуть), ***Move*** (Перемещение), ***Rotate*** (Повернуть), ***Scale*** (Масштаб), ***Mirror*** (Зеркало). По умолчанию вначале активизируется команда ***Stretch*** (Растянуть).

Первое действие при работе со средством редактирования ***Grips***.

Выбирают объекты, воспользовавшись средствами выбора объектов до ввода команды: предполагаемой рамкой или явным указанием объектов. Система отметит маркеры ***Grips*** выбранных объектов маленькими синими квадратами. Если какой-либо объект выбран ошибочно, нажимают клавишу ***Shift*** и дважды щелкают на этом объекте мышью, чтобы отменить выбор и маркеры. Если весь набор выбран неудачно, нажимают дважды клавишу ***Esc***.

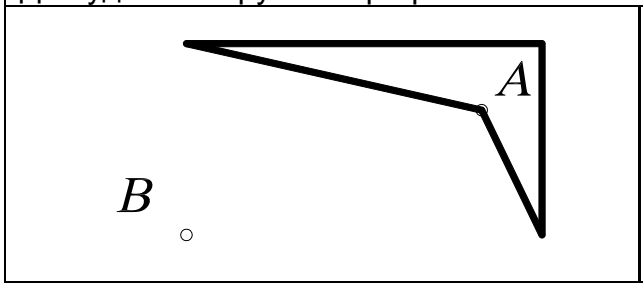
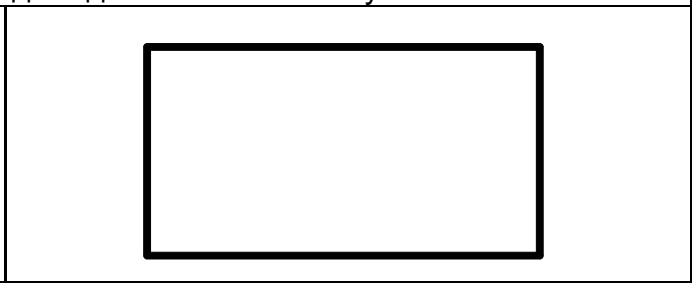
Второе действие при работе со средством редактирования ***Grips***.

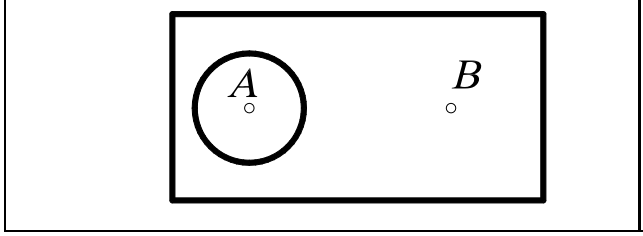
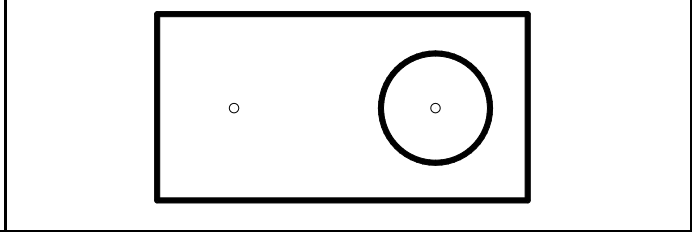
Активизируют режим редактирования, явно указав графическим курсором один из маркеров ***Grips***. Система отметит активный маркер ***Grips*** маленьким красным квадратом. Чтобы вернуть этот маркер в первоначальное состояние, щелкают на нем мышью. Если не-

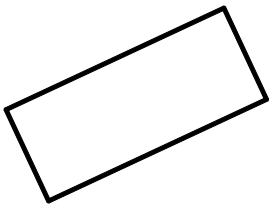
обходимо активизировать несколько маркеров ***Grips***, то в ходе их набора нажимают и удерживают клавишу ***Shift***. После отпускания клавиши ***Shift*** следует выбрать из набора активных маркеров ***Grips*** один, который будет рассматриваться системой как базовый. Если какой-либо маркер ***Grips*** из набора выбран ошибочно, то для его отмены нужно щелкнуть на нем мышью, удерживая нажатой клавишу ***Shift***. Точка, соответствующая выбранному маркеру ***Grips***, рассматривается системой в качестве базовой. После выбора маркера по умолчанию запускается команда ***Stretch*** (Растянуть).

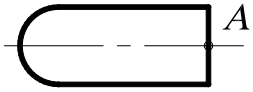
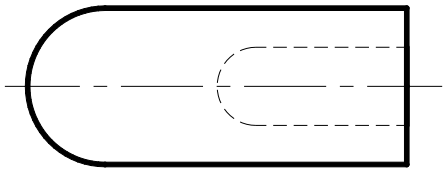
Для выбора остальных команд режима можно воспользоваться контекстным меню, вызываемым при нажатии правой кнопки мыши, последовательным нажатием клавиши ***Enter*** или непосредственным вводом с клавиатуры в командную строку начальной буквы команды.

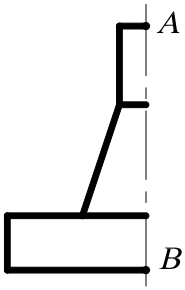
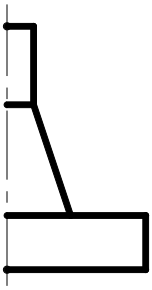
Выполнить упражнения № 73 – 77 (вначале постройте исходный элемент, показанный в левой части упражнения).

Растянуть объект с помощью Grips (Ручки)	***№ 73***
Command: указать на контур объекта в произвольной точке. Из появившихся ручек выбрать ту, за которую следует тянуть (точку A) ** STRETCH ** Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: указать новое положение редактируемой вершины – точку B (при необходимости задать её координатами). Для удаления ручек с графического поля дважды нажать клавишу Esc.	
	

Переместить объект с помощью Grips (Ручки)	***№ 74***
Command: указать на контур объекта в произвольной точке. Из появившихся ручек выбрать базовую, например точку A ** STRETCH ** Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: Mo или Enter режим перемещения ** MOVE ** Specify move point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: указать новое положение центра окружности – точку B (при необходимости задать её координатами). Для удаления ручек с графического поля дважды нажать клавишу Esc.	
	

Повернуть объект с помощью Grips (Ручки)	*№ 75*
Command: указать на контур объекта в произвольной точке. Из появившихся ручек выбрать базовую (центр поворота), например точку А ** STRETCH ** Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: Ro режим поворота ** ROTATE ** Specify rotation angle or [Base point/Copy/Undo/Reference/eXit]: 25 угол Для удаления ручек с графического поля дважды нажать клавишу Esc.	
	

Масштабировать объект с помощью Grips (Ручки)	*№ 76*
Command: выбрать объект Из появившихся ручек выбрать базовую, например точку А ** STRETCH ** Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: Sc режим масштабирования ** SCALE ** Specify scale factor or [Base point/Copy/Undo/Reference/eXit]: 2 коэффициент Для удаления ручек с графического поля дважды нажать клавишу Esc.	
	

Зеркально отобразить объект с помощью Grips (Ручки)	*№ 77*
Command: выбрать объект Из появившихся ручек выбрать базовую, например точку А ** STRETCH ** Specify stretch point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: Mi режим симметрии ** MIRROR ** Specify second point or [Base point/Copy/Undo/eXit]: указать точку В Для удаления ручек с графического поля дважды нажать клавишу Esc.	
	

20. ДИСПЕТЧЕР СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ



Диспетчер свойств объектов ***Object Property Manager*** – это единый инструмент, управляющий всеми объектами рисунка. В диалоговом окне ***Property*** (Свойства), представленном на рис. 150, возможен просмотр и изменение практически всех свойств рисунка. Диалоговое окно загружается командой ***PROPERTIES*** (Окно свойств) либо из падающего меню ***Modify*** (Редактировать)→ ***Properties*** (Свойства), либо щелчком мыши по пиктограмме ***Properties*** (Свойства) стандартной панели инструментов.

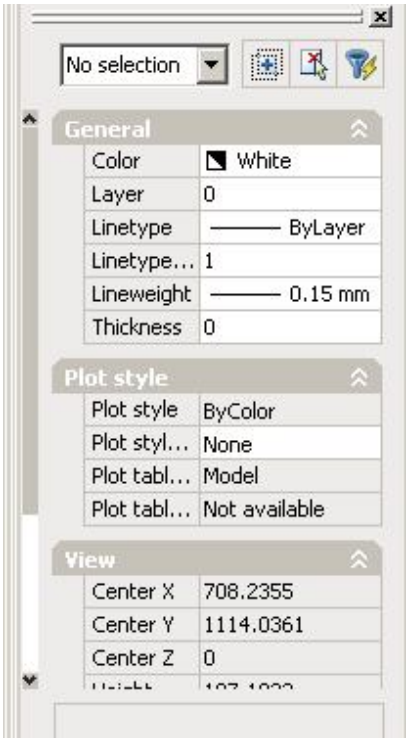


Рис. 150.

Диспетчер свойств объектов ***Object Property Manager*** позволяет выбирать объекты по их типу, предоставляя возможность редактировать свойства для каждого объекта. Если выбран один объект, отображается диалоговое окно со всеми доступными свойствами, характеризующими этот объект (слой, цвет, толщина линии, тип линии, высота текста и т. п.). При выборе нескольких объектов отображается окно с параметрами, которые характеризуют общие свойства этих объектов. Если не выбран ни один объект, диалоговое окно отображает общие характеристики чертежа.

Предусмотрены следующие способы изменения значений параметров:

- ввести новое значение параметра с помощью клавиатуры;
- явно указать новые координаты точки на экране монитора;
- выбрать новое значение параметра из раскрывающегося списка;
- выбрать новое значение параметра в диалоговом окне.

Диалоговое окно загружается командой ***PROPERTIES*** (Окно свойств), содержит две вкладки: раскрывающийся список выбранных объектов и три кнопки.

- Раскрывающийся список, расположенный в верхней части окна, содержит перечень выбранных объектов.
- Кнопка ***Toggle value of PICKADD Sysvar*** разрешает (на кнопке символ +) или запрещает (на кнопке символ 1) добавлять объекты в набор для редактирования.
- Кнопка ***Select Obje***ct позволяет явно указать объекты, свойства которых необходимо редактировать.
- Кнопка ***Quick Select*** открывает диалоговое окно с тем же именем, с помощью которого можно быстро выбрать объекты для редактирования.

При редактировании свойств объектов происходит их динамическое обновление.

21. ПАНЕЛЬ ИНСТРУМЕНТОВ *Dimension* *(Измерение)*

В ***AutoCAD*** используются размеры, которые можно разделить на три основные группы – линейные, радиальные и угловые. Линейные размеры делятся на горизонтальные, вертикальные, параллельные, повернутые, координатные, базовые и размерные цепи. Изображение размера: все линии, стрелки, дуги и элементы текста, составляющие размер, будут рас-

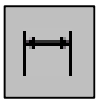
сматриваться как один размерный примитив. Команды простановки размеров находятся в падающем меню ***Dimension*** (Размеры) или на одноименной панели инструментов (рис. 151).



Рис. 151.

21.1. ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ

AutoCAD позволяет проставлять линейные размеры, отличающиеся углом, под которым проводится размерная линия.



– Команда ***Dimliner*** (Размер линейный) – позволяет создавать горизонтальный, вертикальный или повернутый размеры. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Linear*** (Линейный) или щелчком мыши по пиктограмме ***Linear Dimension*** (Линейный размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры). Используется для определения размеров отрезков прямых линий и прямолинейных сегментов полилиний или блоков; команду можно применить для нанесения линейного размера окружности или дуги.

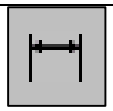
Для выбора точек начала выносных линий рекомендуется пользоваться режимами объектной привязки.

Опции команды ***Dimliner*** (Размер линейный):

- ***Mtext*** (Многострочный текст) – позволяет редактировать размерный текст с помощью редактора многострочного текста. Можно полностью изменить текст или сохранить измеренное значение с помощью угловых скобок < > и добавить, если необходимо, текст до и после скобок. Для определения диаметра окружности к размерному числу присоединяется символьная последовательность %%c, а для простановки угла в градусах - %%d.
- ***Text*** (Текст) – позволяет редактировать размерный текст с помощью редактора однострочного текста.
- ***Angle***(Угол) – позволяет задать угол поворота размерного текста.
- ***Horizontal*** (Горизонтальный) – задает горизонтальную ориентацию размера, отмеряет расстояние между двумя точками по оси ***x***.
- ***Vertical*** (Вертикальный) – задает вертикальную ориентацию размера, отмеряет расстояние между двумя точками по оси ***y***.
- ***Rotated*** (Повернутый) – осуществляет поворот размерной и выносных линий, отмеряет расстояние между двумя точками вдоль заданного направления в текущей ПСК (пользовательской системы координат).

Выполнить упражнения № 78 - 80.

Проставить вертикальный размер ***№ 78***



Dimliner Падающее меню ***Dimension → Liner***

Specify first extension line origin or <select object>: указать точку A

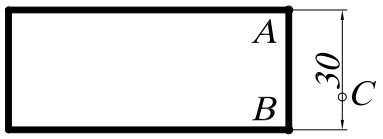
Specify second extension line origin: указать точку B

Specify dimension line location or

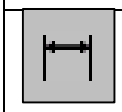
[Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/Rotated]: указать точку C

Dimension text = 30





Проставить горизонтальный размер
с изменением размерного текста ***№ 79***



Dimliner Падающее меню ***Dimension → Liner***

Specify first extension line origin or <select object>: указать точку A

Specify second extension line origin: указать точку B

Specify dimension line location or

[Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/Rotated]: T режим однострочного текста

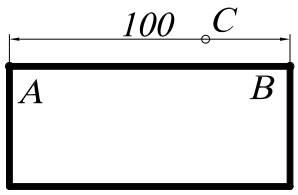
Enter dimension text <70>: 100 ввести новый размерный текст

Specify dimension line location or

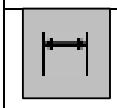
[Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/Rotated]: указать точку C

Dimension text = 70





Проставить повернутый размер ***№ 80***



Dimliner Падающее меню ***Dimension → Liner***

Specify first extension line origin or <select object>: указать точку A

Specify second extension line origin: указать точку B

Specify dimension line location or

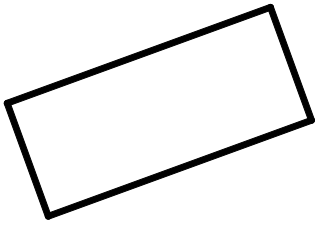
[Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/Rotated]: R режим повернутого размера

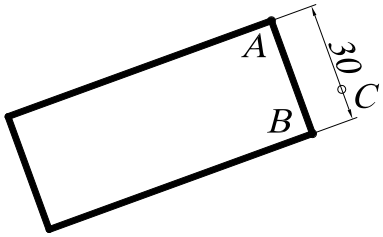
Specify angle of dimension line <0>: 20 угол поворота

Specify dimension line location or

[Mtext/Text/Angle/Horizontal/Vertical/Rotated]: указать точку C

Dimension text = 30





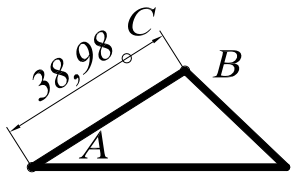
21.2. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ



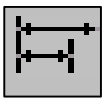
– Команда ***Dimaligned*** (Размер параллельный) – позволяет вычерчивать линейный размер, размерная линия которого параллельна отрезку, проведенному через начальные точки выносных линий. Создается подобно горизонтальным, вертикальным и повернутым размерам. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Aligned*** (Параллельный) или щелчком мыши по пиктограмме ***Aligned Dimension*** (Параллельный размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

При автоматическом размещении выносных линий для окружности началом первой выносной линии будет точка, указанная при выборе окружности. После задания объекта пользователю предоставляется возможность выбора опций команды ***Mtext***, ***Text***, ***Angle***, позволяющих редактировать размерный текст.

Выполнить упражнение № 81.

Проставить параллельный размер	***№ 81***
 ***Dimaligned*** Падающее меню ***Dimension → Aligned*** Specify first extension line origin or <select object>: указать точку A Specify second extension line origin: указать точку B Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]: указать точку C Dimension text = 38.98	
	

21.3. БАЗОВЫЕ РАЗМЕРЫ



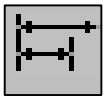
– Команда ***Dimbasline*** (Размер базовый) позволяет вычерчивать несколько размерных линий от одной выносной линии, которая принимается за базовую. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Basline*** (Базовый) или щелчком мыши по пиктограмме ***Basline Dimension*** (Базовый размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

Замечания:

1. Команда ***Dimbasline*** (Размер базовый) может применяться только после выполнения хотя бы одной из команд ***Dimliner*** (Размер линейный), ***Dimordinate*** (Размер координатный) или ***Dimangular*** (Размер угловой).
2. Базовой выносной линией является первая выносная линия предшествующей команды ***Dimbasline*** (Размер базовый).
3. Каждая новая размерная линия автоматически смещается относительно предыдущей на величину, задаваемую системной переменной DIMDLI (в командной строке с клавиатуры вводят DIMDLI и новую величину этой переменной: Enter new value for DIMDLI <6.0000>: 10). Длина базовой выносной линии при этом также увеличивается.

Выполнить упражнение № 82. Перед построением базового размера должен быть нанесен хотя бы один линейный, координатный или угловой размер.

Проставить базовые размеры	*№ 82*



Dimbaseline Падающее меню ***Dimension → Baseline***

Select base dimension: указать точку A

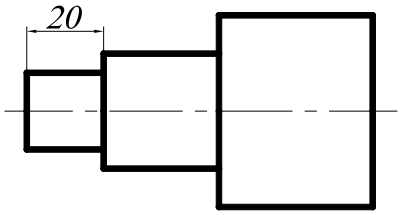
Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: указать точку B

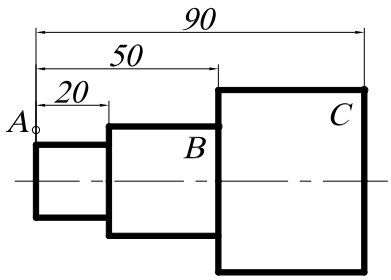
Dimension text = 50

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: указать точку C

Dimension text = 90

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: Enter





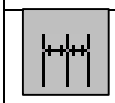
21.4. РАЗМЕРНАЯ ЦЕПЬ



– Команда ***Dimcontinue*** (Размерная цепь) позволяет вычерчивать цепочки размеров, используя вторую выносную линию предыдущего размера как первую выносную линию текущего размера. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Continue*** (Цепь) или щелчком мыши по пиктограмме ***Continue Dimension*** (Размерная цепь) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

Выполнить упражнение № 83. Перед построением размерной цепи должен быть нанесен хотя бы один линейный, координатный или угловой размер.

Проставить размерную цепь	*№ 83*



Dimcontinue Падающее меню ***Dimension → Continue***

Select continued dimension: указать точку A

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: указать точку B

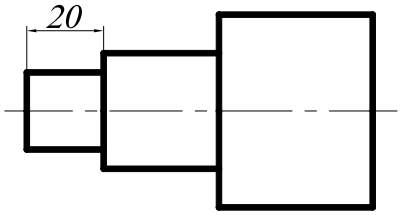
Dimension text = 30

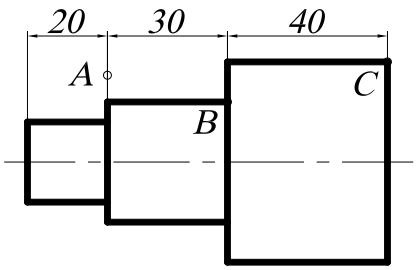
Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: указать точку C

Dimension text = 40

Specify a second extension line origin or [Undo/Select] <Select>: Enter

Select continued dimension: Enter





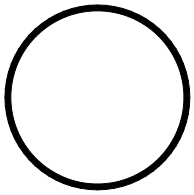
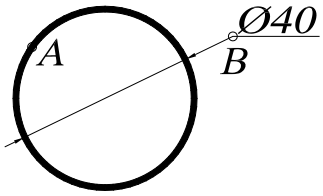
21.5. РАДИАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ

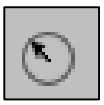


– Команда ***Dimdiameter*** (Размер диаметра) позволяет вычерчивать размерные линии для обозначения размера диаметров дуг или окружностей. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Diameter*** (Диаметр) или щелчком мыши по пиктограмме ***Diameter*** (Диаметр) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

При выполнении этой команды выносные линии не проводятся. Если размерный текст не изменялся, то по умолчанию размерному числу предшествует знак диаметра окружности. Нельзя изменить направление отрезка, который продолжает размерную линию диаметра за пределами окружности.

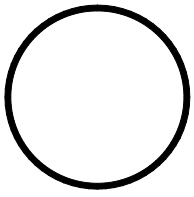
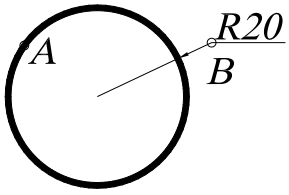
Выполнить упражнение № 84.

Проставить размер диаметра	***№ 84***
 ***Dimdiameter*** Падающее меню ***Dimension → Diameter*** Select arc or circle: указать точку A Dimension text = 40 Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]: указать точку B	
	



– Команда ***Dimradius*** (Размер радиуса) позволяет вычерчивать размерные линии для обозначения размера радиуса дуг или окружностей. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Radius*** (Радиус) или щелчком мыши по пиктограмме ***Radius*** (Радиус) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры). При простановке радиуса текст по умолчанию начинается с символа ***R***.

Выполнить упражнение № 85.

Проставить размер радиуса	***№ 85***
 ***Dimradius*** Падающее меню ***Dimension → Radius*** Select arc or circle: указать точку A Dimension text = 20 Specify dimension line location or [Mtext/Text/Angle]: указать точку B	
	

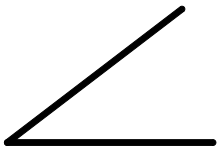
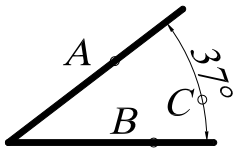
21.6. УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ



– Команда ***Dimangular*** (Размер угловой) позволяет вычерчивать размерную линию (дугу окружности) для обозначения угла между двумя непараллельными линиями, набором из трёх точек, дуги или окружности. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Angular*** (Угловой) или щелчком мыши по пиктограмме ***Angular Dimension*** (Угловой размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

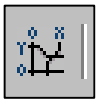
Если на первый запрос команды нажать клавишу ***Enter***, то угловой размер строится по трем точкам. При простановке углового размера текст по умолчанию завершается знаком «°».

Выполнить упражнение № 86.

Проставить угловой размер	***№ 86***
 ***Dimangular*** Падающее меню ***Dimension → Angular*** Select arc, circle, line, or <specify vertex>: указать точку A Select second line: указать точку B Specify dimension arc line location or [Mtext/Text/Angle]: указать точку C Dimension text = 37	
	

Опции команды позволяют изменять размерный текст и угол наклона размерного текста. Если угол образован двумя непараллельными прямыми, размерная дуга стягивает угол между ними. Если размерная линия указана вне пределов линий, угол между которыми обозначается, то автоматически вычерчиваются выносные линии.

21.7. КООРДИНАТНЫЕ РАЗМЕРЫ



– Команда ***Dimordinate*** (Размер координатный) позволяет вычерчивать размер, показывающий расстояние от начала координат до объекта вдоль оси ***x*** или ***y***. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Ordinate*** (Координатный) или щелчком мыши по пиктограмме ***Ordinate Dimension*** (Координатный размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

Координатный размер состоит из значения координаты ***x*** или ***y*** и выноски. Координатный размер по ***x*** – это расстояние от начала координат до объекта вдоль оси ***x***, а координатный размер по ***y*** – это расстояние вдоль оси ***y***. Если указана точка, ***AutoCAD*** автоматически определяет, по какой оси проставлять координатный размер. Текст координатного размера располагается вдоль выноски, независимо от ориентации текста, заданной текущим размерным стилем. Опции команды позволяют изменять размерный текст и угол наклона размерного текста.

21.8. ВЫНОСКИ И ПОЯСНИТЕЛЬНЫЕ НАДПИСИ НА ЧЕРТЕЖЕ



– Команда ***QLeader*** (Быстрая Выноска) обеспечивает вычерчивание линии-выноски и вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Leader*** (Выноска) или щелчком мыши по пиктограмме ***Quick Leader*** (Быстрая выноска) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

Если на первый запрос команды нажать клавишу ***Enter***, то система открывает диалоговое окно ***Leader Settings*** для настройки параметров линии-выноски (рис. 152). Это диалоговое окно содержит три вкладки. Вкладка ***Annotation*** позволяет управлять содержанием аннотации, добавляемой к линии выноски: это может быть многострочный текст, допуск формы и расположения поверхностей, блок или ничего.

Вкладка ***Leader & Arrow*** позволяет управлять внешним видом линии выноски и формой стрелки указателя линии выноски. Кнопка выбора ***Straight*** устанавливает линию выноски в виде ломаной линии с прямолинейными сегментами, а кнопка ***Spline*** – в виде гладкой кривой (сплайна).

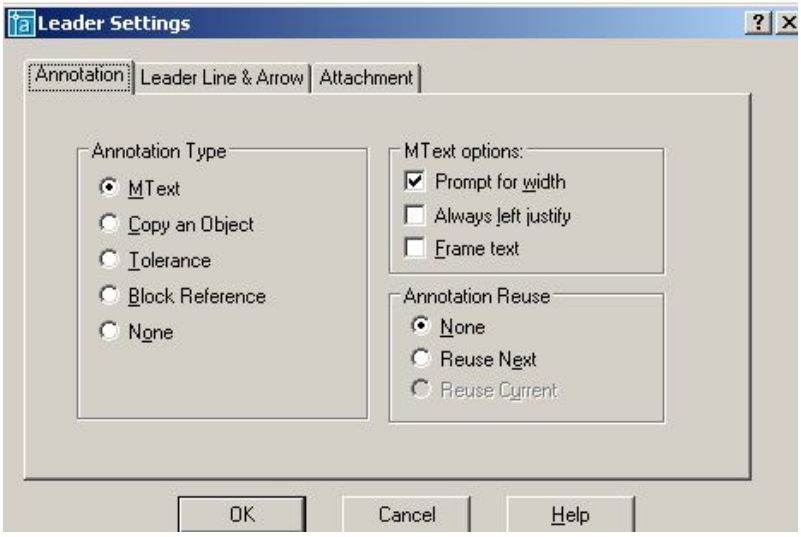
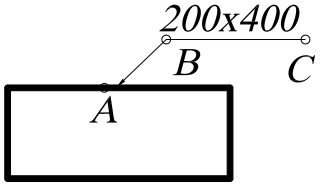


Рис.152.

Вкладка ***Attachment*** позволяет управлять положением полки линии выноски относительно поясняющей надписи. По умолчанию предлагается компоновка, когда полка линии выноски располагается в середине нижней строки многострочного текста. Предлагаемые способы выравнивания многострочного текста:

- ***Top of Top Line*** – по верху верхней строки;
- ***Middle of Top Line*** – по середине верхней строки;
- ***Middle of Multilane Text*** – по середине текста;
- ***Middle of Bottom Line*** – по середине нижней строки;
- ***Bottom of Bottom Line*** – по низу нижней строки;
- Флажок ***Underline Bottom Line*** отменяет все способы расположения надписи и разрешает ее подчеркивание полкой линии выноски.

Выполнить упражнение № 87.

Проставить размеры детали прямоугольного сечения на полке линии-выноски	***№ 87***
 ***Qleader*** Падающее меню ***Dimension → Leader*** Specify first leader point, or [Settings] <Settings>: указать точку A Specify next point: указать точку B Specify next point: указать точку C Specify text width <6>: Enter Enter first line of annotation text <Mtext>: 200x400 Enter next line of annotation text: Enter	
	

21.9. БЫСТРОЕ НАНЕСЕНИЕ РАЗМЕРОВ



– Команда ***QDim*** (Быстрый Размер) используется для одновременного быстрого нанесения группы размеров и вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Разме-

ры) → ***Quick Dimension*** (Быстрый размер) или щелчком мыши по пиктограмме ***Quick Dimension*** (Быстрый размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

Команда ***QDim*** (БРазмер) запрашивает лишь контуры, на которые необходимо проставить размеры с указанием опции типа проставляемых размеров:

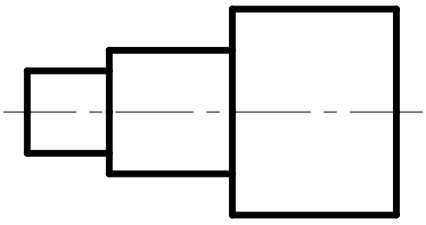
- ***Continuous*** (***C***) – используется, если необходимо для выбранных объектов нанести группу размеров в виде размерной цепочки;
- ***Staggered*** (***S***) – используется, если необходимо для выбранных объектов нанести группу параллельных или концентрических размеров;
- ***Baseline*** (***B***) - используется, если необходимо для выбранных объектов нанести группу размеров от одной базы;
- ***Ordinate*** (***O***) - используется, если необходимо для выбранных объектов нанести группу координатных размеров;
- ***Radius*** (***R***) - используется, если необходимо для выбранных объектов (дуг или окружностей) нанести размер радиуса;
- ***Diameter*** (***D***) – используется, если необходимо для выбранных объектов (дуг или окружностей) нанести размер диаметра;
- ***DatumPoint*** (***P***) – используется, если необходимо изменить базовую точку при нанесении группы базовых или координатных размеров;
- ***Edit*** (***E***) – используется, если необходимо редактировать набор характерных точек в выбранной группе объектов; разрешено удалять (***remove***) или добавлять (***Add***) точки в набор.

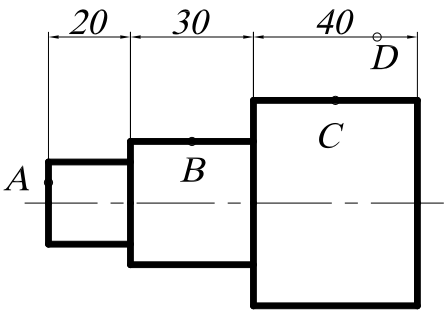
Выполнить упражнение № 88.

Быстрое нанесение размеров ***№ 88***

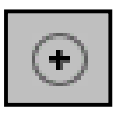


Qdim Падающее меню ***Dimension → Quick Dimension***
Associative dimension priority = Endpoint
Select geometry to dimension: указать точку A
Select geometry to dimension: указать точку B
Select geometry to dimension: указать точку C
Select geometry to dimension: Enter
Specify dimension line position, or
[Continuous/Staggered/Baseline/Ordinate/Radius/Diameter/datumPoint/Edit/seTtings
] <Continuous>: указать точку D





21.10. НАНЕСЕНИЕ МЕТОК ЦЕНТРА ОКРУЖНОСТИ ИЛИ ДУГИ



– Команда ***Dimcenter*** (Центральная метка) используется для нанесения меток центра выбранной дуги или окружности и вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Dimension center*** (Центральная метка) или щелчком мыши по пиктограмме ***Dimension center*** (Центральная метка) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

В ответ на запрос команды указать графическим курсором объект, для которого необходимо нанести метку.

21.11. РЕДАКТИРОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ СТИЛЕЙ



– Команда ***Dimstyle*** (Размерный стиль) обеспечивает работу с размерными стилями с помощью диалогового окна ***Dimension Style Manager*** (Диспетчер разменных стилей), представленного на рис. 153. Вызывается из падающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Style…*** (Стиль…) или щелчком мыши по пиктограмме ***Dimension Style*** (Размерный стиль) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры).

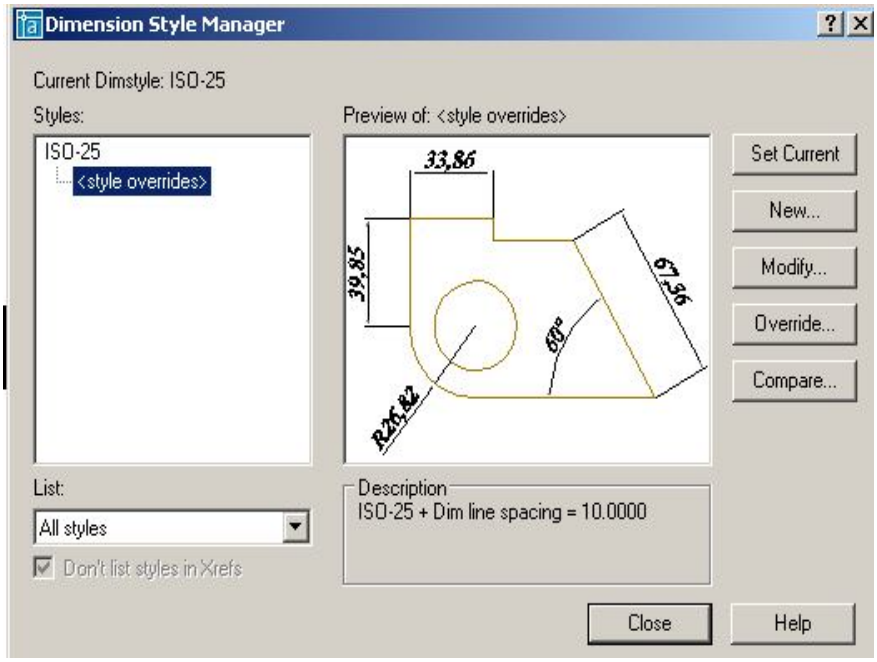


Рис. 153.

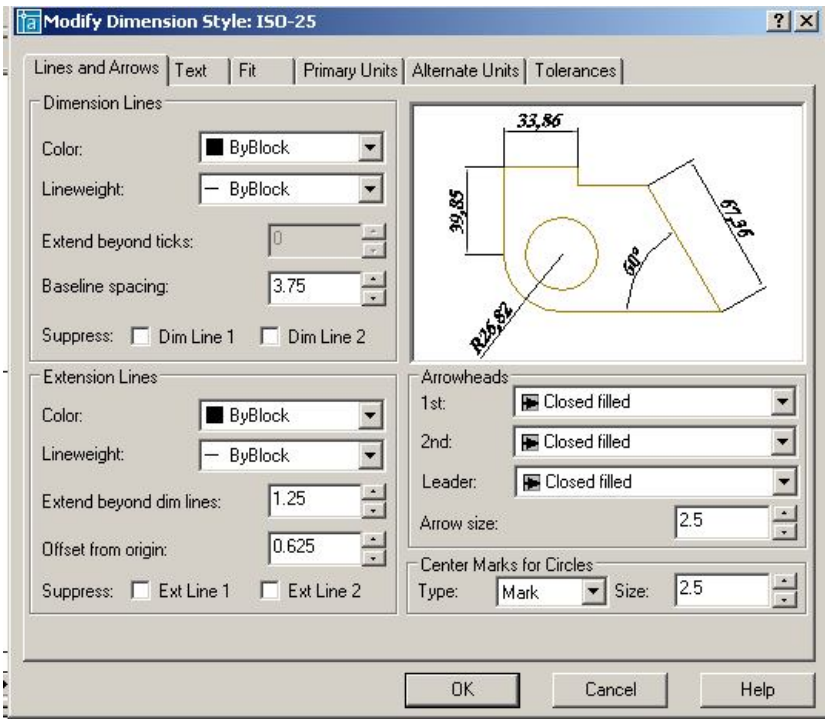


Рис. 154.

Изменение размерного блока происходит при редактировании (модифицировании) текущего размерного стиля или при замене текущего размерного стиля на новый размерный стиль.

Чтобы модифицировать текущий размерный стиль, необходимо:

- открыть диалоговое окно ***Dimension Style Manager*** (Диспетчер разменных стилей);
- щелкнуть в открывшемся диалоговом окне на кнопке ***Modify*** (Редактировать);
- заменить значения размерных переменных на новые, используя соответствующие вкладки диалогового окна ***Modify Dimension Style*** (Редактирование размерного стиля), представленного на рис. 154;
- щелкнуть на кнопке ОК;
- закрыть диалоговое окно ***Dimension Style Manager***.

После закрытия диалогового окна ***AutoCAD*** автоматически обновит на чертеже размерные блоки, использующие текущий стиль, в соответствии с новыми значениями размерных переменных.

Диалоговое окно ***Modify Dimension Style*** (Редактирование размерного стиля) содержит следующие вкладки.

1. ***Lines and Arrows*** (Линии и стрелки) – настройка параметров размерных, выносных, осевых линий и стрелок, содержит четыре поля настроек:

- Настройка размерных линий ***Dimension Lines*** – ***Color*** (цвет линий), ***Lineweight*** (толщина линий), ***Extend beyond ticks*** (величина выступа размерной линии за выносные линии (в случае, когда вместо стрелок используются засечки), ***Base spacing*** (расстояние между размерными линиями при простановке размеров от одной базы), ***Suppress*** (подавление первой (***Dim Line 1***) или второй (***Dim Line 1***) частей размерной линии.
- Настройка выносных линий ***Extension Lines*** – ***Color*** (цвет линий), ***Lineweight*** (толщина линий), ***Extend beyond dim lines*** (величина выступа выносных линий за размерную линию), ***Offset from origin*** (отступ начала выносной линии от объекта), ***Suppress*** (подавление первой (***Ext Line 1***) или второй (***Ext Line 1***) выносной линии.
- Настройка размерных стрелок ***Arrowheads*** – ***1 st*** (вид первой стрелки), ***2 nd*** (вид второй стрелки), ***Leader*** (вид стрелки для линии-выноски), ***Arrowsize*** (размер стрелки).
- Настройка маркеров для центра окружности или дуги ***Center Marcs for Circles*** – ***Type*** (тип маркера), ***Size*** (размер).

2. ***Text*** (Текст) – настройка размещения и формата размерных надписей содержит три поля настроек:

- Настройка внешнего вида текста ***Text Appearance*** – ***Text style*** (стиль текста), ***Text color*** (цвет текста), ***Text height*** (высота текста), ***Fraction height scale*** (определение масштаба чисел дробной части относительно размера основного текста при отображении простых дробей***), Draw frame around text*** (отрисовка рамки вокруг размерного текста).
- Расположение размерного текста относительно размерной линии ***Text Placement*** – ***Vertical*** (расположение текста при вертикальной ориентации размерной линии: ***Centered*** – центрирует текст относительно размерной линии, разрывая его; ***Above*** – размещает текст над размерной линией; ***Outside*** – размещает текст под размерной линией; ***JIS*** – располагает текст в соответствии с Японским индустриальным стандартом). ***Horizontal*** (расположение текста при горизонтальной ориентации размерной линии: ***Centered*** – центрирует текст относительно размерной линии; ***1nd Extention Line*** – размещает текст около первой выносной линии; ***2nd Extention Line*** – размещает текст около второй выносной линии; ***Over 1st Extention Line*** – размещает текст над первой выносной линией; ***Over 2nd Extention Line*** – размещает текст над второй выносной линией). ***Offset from dim line*** – расстояние между текстом и размерной линией.
- Ориентация текста ***Text Alingment*** – ***Horizontal*** (располагается вертикально), ***Alingment with dimension line*** (текст располагается параллельно размерной линии), ***ISO Standart*** (текст располагается параллельно размерной линии, когда он находится между выносными линиями, и горизонтально, когда он находится вне выносных линий).

3. Fit (Выравнивание) – настройка характера размещения стрелок и размерных надписей в стесненных местах чертежа. При нанесении размеров достаточно часто встречаются ситуации, когда не удается разместить размерный текст на обычном месте, поэтому в стиле должно быть определено поведение системы в подобных ситуациях.

- Расположение текста и стрелок при недостатке места для размещения их внутри выносных линий ***Fit Option*** (Вписывать) – ***Either the text or the arrows, whichever fits best*** (автоматически определяется, что лучше разместить внутри выносных линий – текст или стрелки), ***Arrows*** (внутри располагаются стрелки), ***Text*** (внутри располагается текст), ***Both text and arrows*** (внутри располагаются как текст, так и стрелки), ***Always keep text between ext lines*** (всегда размещает текст между выносными линиями), ***Sup-***

press arrows if they don't fit inside the extension lines (подавляет стрелки, если они не вписываются внутрь выносных линий).

- Расположение текста, когда он не может разместиться в месте, предусмотренном по умолчанию ***Text Placement*** (Размещение текста) – ***Beside the dimension line*** (около выносной линии), ***Over the dimension line, with a leader*** (на выноске, выше размерной линии), ***Over the dimension line, without a leader*** (выше размерной линии, без выноски).
- Масштаб для размерных элементов (***Scale for Dimension Features***) – ***Use overall scale off*** (использовать общий масштабный коэффициент для всех размерных элементов), ***Scale dimensions to layout (paperspace)*** (в пространстве листа масштабировать элементы в соответствии с масштабом чертежа в текущем видовом экране.
- Дополнительная настройка ***Fine Tuning*** – ***Place text manually when dimensioning*** (при простановке размеров местоположение текста определяется вручную), ***Always draw dim line between ext lines*** (всегда чертить размерную линию между выносными линиями, даже когда стрелки располагаются снаружи от выносных линий).

4. Вкладка ***Primary Units*** (Основные единицы) – настройка формата основных единиц для размеров, соответствующих линейным и угловым величинам.

- Линейные размеры (***Linear Dimensions***) – ***Unit format*** (единицы измерения), ***Precision*** (точность размерного стиля), ***Fraction format*** (формат дробной части при использовании дробей), ***Decimal separator*** (формат разделителя целой и десятичной части числа), ***Round off*** (округление размерных чисел (1 – округление до целых), ***Prefix*** (префикс, который будет отображаться перед размерным текстом), ***Suffix*** (суффикс, который будет отображаться после размерного текста).
- Масштабы (***Measurement Scale***) – ***Scale factor*** (масштаб значения размерного числа), ***Apply to layout dimensions only*** (масштаб учитывать только в пространстве листа).
- Подавление нуля (***Zero Suppression***) – ***Leading*** (подавление нуля перед запятой), ***Trailing*** (подавление последних нулей в десятичной части).

Настройка единиц угловых размеров ***Angular Dimensions*** (в правой части диалогового окна) производится аналогично.

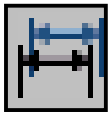
5. Вкладка ***Alternate Units*** (Альтернативные единицы) – параметры настройки в этой вкладке используются в том случае, если будет включен режим простановки размеров альтернативных единиц, то есть если используют метрическую систему и британскую на одном чертеже.

6. Вкладка ***Tolerances*** (Допуски) – настройка параметров формата представления допусков на чертеже.

Для замены текущего размерного стиля на новый размерный стиль необходимо:

- открыть диалоговое окно ***Dimension Style Manager***;
- выбрать нужный стиль в списке ***Styles***;
- сделать новый стиль текущим, щелкнув на кнопке ***Set Current***;
- закрыть диалоговое окно ***Dimension Style Manager***.





После закрытия диалогового окна все существующие на чертеже размерные блоки не изменятся, а новые будут вычерчиваться в соответствии с новым размерным стилем. Если необходимо заменить стиль существующих размерных блоков на установленный размерный стиль, следует воспользоваться командой выпадающего меню ***Dimension*** (Размеры) → ***Update*** (Обновить) или щелчком мыши по пиктограмме ***Dimension Update*** (Обновить размер) панели инструментов ***Dimension*** (Размеры). Затем ввести в командную строку ***all*** и нажать клавишу ***Enter*** или воспользоваться секущей рамкой выбора и с её помощью выбрать все объекты размеров на чертеже. Когда все объекты размеров на экране выделены, нажать клавишу ***Enter***. Тем самым выполнение команды завершится.

22. ЗУМИРОВАНИЕ

В ***AutoCAD*** изменение масштаба выполняется всевозможными модификациями команды ***ZOOM*** (Покажи) из панели инструментов ***Zoom*** (рис. 155).



Рис. 155.

Выполнение этой команды производит тот же эффект, что и настройка объектива с переменным фокусным расстоянием, который используется в теле- и кинокамерах. При зуммировании размеры рисунка остаются прежними, изменяется лишь размер его части, видимой в графической области. Команды ***Zoom*** могут вызываться из падающего меню ***View*** (Вид) → ***ZOOM*** (Покажи) стандартной панели инструментов. Ниже приводится описание каждой команды.



– ***Zoom Realtime*** (Зумирование в реальном времени) – увеличение или уменьшение видимого размера объекта на текущем видовом экране;



– ***Zoom Previous*** (Показать Предыдущий) – возврат к показу предыдущего вида;



– ***Zoom Window*** (Показать Рамка –указание области отображения с использованием рамки. Для этого следует задать два противоположных угла прямоугольной рамки.;



– ***Zoom Dinamic*** – динамическое задание области отображения. Отображает видимую часть чертежа в рамке, представляющего текущий вид. При нажатии клавиши ***Enter*** изображение, заключенное в видовом экране, выводится на видовой экран.



– ***Zoom Scale*** (Показать масштаб) – задание масштабного коэффициента. Используется, если изображение требуется уменьшить или увеличить на точно заданную величину. При этом необходимо задать коэффициент экранного увеличения.



– ***Zoom Center*** (Показать центр) – задание области изображения путем ввода точки центра и высоты в единицах рисунка;



– ***Zoom Object*** (Показать объект) – задание области отображения путем выбора объекта или группы объектов;



– ***Zoom In*** (Увеличить) – увеличение изображения;



– ***Zoom Out*** (Уменьшить) – уменьшение изображения;



– ***Zoom All*** (Показать все) – отображение всей области чертежа или области внутри границ, если заданы границы. Позволяет увидеть на экране весь чертёж;



– ***Zoom Extents*** (Показать границы) – отображение области, которая содержит все примитивы чертежа.

23. ПАНОРАМИРОВАНИЕ



– ***Pan Realtime*** (Панорамирование в реальном времени) – перемещение изображения на текущем видовом экране в режиме реального времени. При перемещении курсора по видовому экрану происходит динамическое перемещение изображения. Для активизации команды можно щелкнуть мышью по кнопке ***Pan Realtime*** (Панорамирование в реальном времени) стандартной панели инструментов либо выбрать команду из падающего меню ***View*** (Вид) → ***Pan*** (Панорамировать) → ***Real Time*** (В реальном времени).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Создать шаблон чертежа формата А4 и А3 с основной надписью (рис. 156).

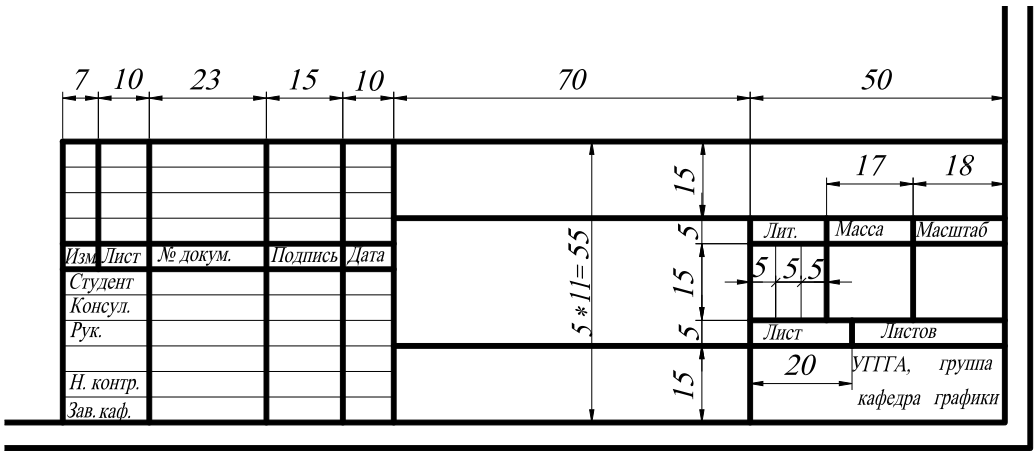


Рис. 156.

2. Выполнить чертёж детали (прил. 1) на формате А3 в масштабе 1:1.

3. По двум заданным изображениям детали (прил. 2) построить проекционный чертеж в трех проекциях. Формат А3, масштаб 1:1. Применить необходимые разрезы и сечения (в соответствии с ГОСТ 2.305 – 68). Нанести размеры. Заполнить основную надпись.

4. По двум заданным изображениям детали (прил. 3) построить проекционный чертеж в трех проекциях. Формат А3, масштаб 1:1. Применить необходимые разрезы и сечения (в соответствии с ГОСТ 2.305 – 68). Нанести размеры. Заполнить основную надпись.

5. По двум заданным изображениям детали (прил. 4) построить проекционный чертеж в трех проекциях. Формат А3, масштаб 1:1. Применить необходимые разрезы и сечения (в соответствии с ГОСТ 2.305 – 68). Нанести размеры. Заполнить основную надпись.

Глава 3
ТРЁХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Система ***AutoCAD*** включает в себя достаточно широкий спектр средств трёхмерного моделирования. Они позволяют работать как с простейшими примитивами, так и со сложными поверхностями и твердыми телами. Основные типы пространственных моделей, используемых в ***AutoCAD***, можно условно разделить на три группы:

- каркасные;
- модели поверхностей;
- твердотельные.

Каркасная модель – это совокупность отрезков и кривых, определяющих ребра фигуры. В каркасном моделировании используются трехмерные отрезки, сплайны и полилинии, которые позволяют в общих чертах определить конфигурацию изделия – построить его каркас. Построение каркасных моделей в ***AutoCAD*** рассматривается как этап вспомогательных построений для трёхмерного проектирования более высокого уровня.

Поверхностная модель – это совокупность поверхностей, ограничивающих и определяющих трехмерный объект в пространстве. Моделирование поверхностей применяется для детальной отработки внешнего облика изделия. Создаваемые при этом объекты характеризуются лишь конфигурацией своей поверхности и поэтому не пригодны для решения таких задач, как определение инерционно-массовых характеристик изделия или получение изображений для оформления чертежей. Область применения данного вида моделирования – дизайн, решение задач компоновки сложных изделий и др. В данном случае можно создавать линейчатые поверхности, поверхности Кунса, поверхности Безье.

Твердотельное моделирование является основным видом трехмерного проектирования изделий машиностроения. Создаваемые твердотельные модели воспринимаются системой как некие единые объекты, имеющие определенный объем. Твердотельное моделирование позволяет решать не только компоновочные задачи, но и определять инерционно-массовые характеристики, а также получать с пространственного объекта необходимые виды, разрезы и сечения для оформления рабочей документации.

В данном пособии рассматривается построение каркасных моделей и твердотельных. Кроме создания вышеперечисленных трехмерных моделей рассматриваются средства их редактирования, средства просмотра объемного изображения и визуализации.

2. ЗАДАНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ КООРДИНАТ

Задание координат точек при работе в трехмерном пространстве может производиться с помощью клавиатуры или с помощью графического курсора. При этом необходимо дополнительно указывать координату, определяющую положение точки вдоль оси ***Z***. Точка может быть задана:

- *абсолютными координатами (прямоугольные, цилиндрические, сферические);*
- *относительными координатами (прямоугольные, цилиндрические, сферические)*.

Цилиндрические и сферические координаты подобны полярным координатам в двумерном пространстве.

1. Ввод значений *абсолютных координат* в системе ***AutoCAD*** может осуществляться в следующих форматах:

- *Прямоугольные (декартовы) координаты*: **…point: x, y, z**.

В случае использования такого формата необходимо на запрос системы о местоположении точки ввести с клавиатуры численное значение координаты ***x***, затем через запятую – значение координат ***y*** и ***z***, а также направление (+ или -).

- *Цилиндрические координаты:* **…point: ρ < φ, z**.
  Эти координаты измеряются от точки начала текущей системы координат. При использовании данных координат на запрос о местоположении точки следует ввести длину вектора (расстояние от начала координат до точки), специальный символ < (знак «меньше»), угол поворота в плоскости ***XY***, а затем через запятую – координату точки по оси ***Z***. За положительное направление отсчета угла поворота вектора в плоскости ***XY*** принято вращение против часовой стрелки от положительного направления оси ***X***.
- *Сферические координаты:* **…point: ρ < φ < ψ**.
  Эти координаты измеряются от точки начала текущей системы координат. При использовании данных координат на запрос о местоположении точки следует ввести длину вектора (расстояние от начала координат до точки), а далее через специальные символы < (знак «меньше»), угол поворота в плоскости ***XY***, а затем угол наклона вектора относительно плоскости ***XY***.

2. Относительные координаты не ссылаются на точку начала системы отсчёта. *Относительные координаты* – это смещение по осям ***X***, ***Y*** и ***Z*** от предыдущей введённой точки.

- *Прямоугольные координаты*: **…point: @Δx,Δy**.

Для ввода относительных прямоугольных координат точек необходимо сначала ввести специальный символ **@**, который вводится нажатием комбинации клавиш ***SHIFT+2***, а затем приращение по оси абсцисс ***x***, запятую, приращение по оси ординат ***y*** и приращение по оси ***z***.

- *Цилиндрические координаты*: **…point: @ρ<φ, Δ z**.
- *Сферические координаты*: **…point: @ρ < φ < ψ**.

Особенностью задания координат точек с помощью графического курсора при работе в трёхмерном пространстве является то, что по умолчанию все указываемые точки воспринимаются системой как лежащие в плоскости ***XY*** текущей системы координат. Поэтому при указании точек подобным образом следует использовать объектную привязку или соответствующим образом изменять систему координат.

Некоторые типы объектов, например окружности и плоские полилинии, могут создаваться только в плоскостях, параллельных плоскости ***XY*** текущей системы координат. При этом положение плоскости, в которой расположен такой объект, вдоль оси ***Z*** определяется положением первой указанной точки. Так, например, если при создании плоской полилинии в ответ на первый запрос была указана точка с координатой ***Z***, равной 20, то и все остальные точки полилинии будут иметь ту же координату вдоль оси ***Z*** независимо от способа ввода координат и использования режима объектной привязки.

3. ЗАДАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

При создании двумерных объектов пользователь, как правило, работает в одной плоскости проекций – ***XY***, и ему зачастую бывает достаточно использовать одну, устанавливаемую по умолчанию, пользовательскую систему координат. Построение трехмерных объектов требует работы и с другими плоскостями проекций. Если учесть, что курсор в ***AutoCAD*** может перемещаться только в плоскости ***XY*** и ей параллельной, то становится понятно, что создание трехмерных моделей при использовании только одной системы координат является трудоемким.

В ***AutoCAD*** существуют две основные системы координат – мировая система координат ***Word Coordinate System WCS*** (МСК) и пользовательская система координат ***User Coordinate System UCS*** (ПСК). Ось ***X*** мировой системы координат направлена горизонтально, ось ***Y*** – вертикально, а ось ***Z*** – проходит перпендикулярно плоскости ***XY***. Основное отличие миро-

вой системы координат ***WCS*** (МСК) от пользовательской системы координат ***UCS*** (ПСК) заключается в том, что мировая система координат может быть только одна, и она неподвижна. В ***AutoCAD*** можно определять и использовать неограниченное количество пользовательских систем координат ***UCS*** (ПСК).

Вызвать команду ***UCS*** (ПСК) или варианты её исполнения можно из командной строки или из падающего меню ***Tools*** (Сервис). Наиболее удобным представляется вызов команды ***UCS*** (ПСК) из стандартной или плавающей панели инструментов (рис. 157).



Рис. 157.



- Команда ***UCS*** (ПСК) – определение новой пользовательской системы координат. Вызов команды ***USK*** (ПСК);



- ***Display UCS Dialog*** (Диалоговое окно ПСК) – управление имеющимися пользовательскими системами координат из диалогового окна ***UCS*** (рис. 158).

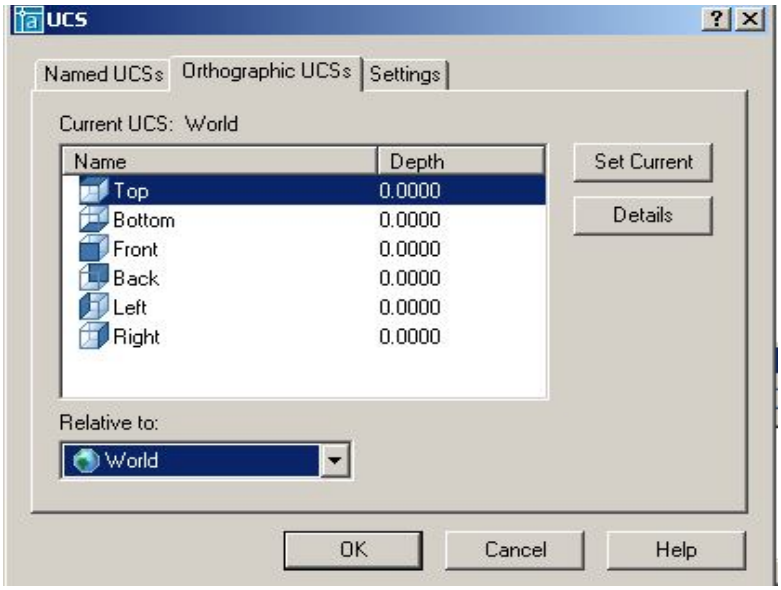


Рис. 158.



- ***UCS Previous*** (Предыдущая ПСК) – восстановление предыдущей ПСК. При этом сохраняется десять последних определенных ПСК.



- ***Word UCS*** (МСК) – переход в мировую систему координат;



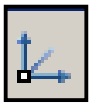
- ***Object UCS*** (ПСК объект) – выравнивание системы координат по существующему объекту, то есть совмещение плоскости ***XY*** новой системы координат с плоскостью существующего двумерного объекта;



- ***Face UCS*** (ПСК на грани) – создание новой ПСК путем указания грани;



- ***View UCS*** (ПСК вид) – создание новой ПСК параллельно текущему виду поворотом вокруг начальной точки ПСК, иначе говоря, параллельно экрану;



- ***Origin UCS*** (ПСК Начало) – создание новой ПСК заданием нового начала координат;



- ***ZAxis Vector UCS*** (ПСК Zось) – создание новой ПСК заданием нового начала координат и точки, определяющей положительное направление оси ***Z***;



- ***3Point UCS*** (ПСК 3 точки) – создание новой ПСК по 3 точкам, последовательно определяющим новое начало координат и направление осей ***X*** и ***Y***;



- ***XAxis Rotate UCS*** (ПСК повернуть вокруг оси ***X***) – создание новой ПСК поворотом текущей ПСК вокруг оси ***X***;



- ***YAxis Rotate UCS*** (ПСК повернуть вокруг оси ***Y***) – создание новой ПСК поворотом текущей ПСК вокруг оси ***Y***;



- ***ZAxis Rotate UCS*** (ПСК повернуть вокруг оси ***Z***) – создание новой ПСК поворотом текущей ПСК вокруг оси ***Z***;



- ***Apply UCS*** (Применить ПСК) – применение текущей ПСК к выбранному видовому экрану.

При создании пользовательской системы координат направление её координатных осей удобно определять по правилу правой руки: большой палец показывает направление положительных значений по оси ***X***, указательный – по оси ***Y***, средний по оси ***Z*** (рис. 159). Для определения положительного направления угла поворота следует большой палец правой руки направить в положительном направлении координатной оси, вокруг которой осуществляется вращение. Тогда согнутые пальцы покажут положительное направление угла поворота системы координат (рис. 160).

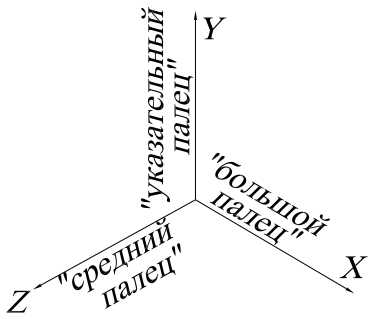


Рис. 159.

Изменение текущей ПСК не влияет на изображение чертежа на экране, если не включена системная переменная ***UCSFOLLOW***. Если ***UCSFOLLOW*** имеет значение 1, то при определении новой ПСК на экране изображается вид в плане новой ПСК.

Выполнить упражнения № 89, 90.

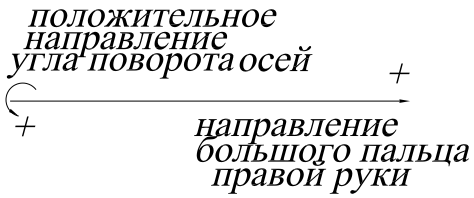
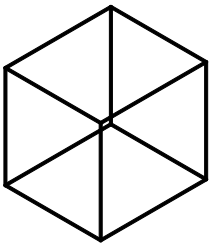
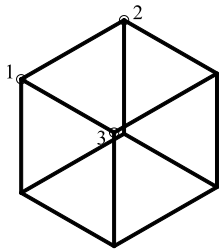
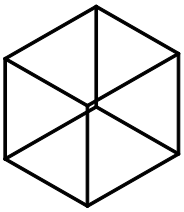
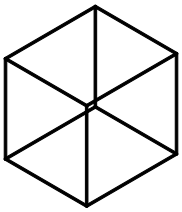


Рис. 160.

Задать пользовательскую систему координат тремя точками № 89
 ***3Point UCS*** Падающее меню ***Tools → New UCS→ 3 Point***   Current ucs name: *WORLD*   Enter an option [New/Move/□rthographic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: _3 режим задания ПСК по трём точкам   Specify new origin point <0,0,0>: указать центр ПСК – точку 1   Specify point on positive portion of X-axis <0,0>: указать точку 2 (направление оси 0X)   Specify point on positive-Y portion of the UCS XY plane <0,0>: указать точку 3 (направление оси 0Y)
 

Задать пользовательскую систему координат тремя точками № 90
 ***View UCS*** Падающее меню ***Tools → New UCS→ View***   Current ucs name: *WORLD*   Enter an option [New/Move/□rthographic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>: _v режим, параллельный плоскости текущего вида (в этом режиме можно выполнять любые надписи, как и в двумерном моделировании).
 

4. ПРОСТРАНСТВО МОДЕЛИ И ПРОСТРАНСТВО ЛИСТА

На нижней полке рамки графической зоны находятся корешки вкладок ***Model*** (Модель) и ***Layout*** (Компоновка). Последних может быть несколько, причем каждой очередной присваивается возрастающий номер. На вкладке ***Model*** (Модель) выполняется вся творческая часть работы конструктора. На вкладках ***Layout*** (Компоновка) компонуется представление разработанной модели на виртуальном листе чертежа в виде плоского рисунка, причем одна модель может быть представлена несколькими компоновками на разных вкладках. Переключаясь со вкладки ***Model*** (Модель) на вкладку ***Layout*** (Компоновка), пользователь фактически переходит из трехмерного пространства модели в двухмерное пространство листа, на котором представлена эта модель.

После перехода на очередную вкладку ***Layout*** (Компоновка) можно приступать к компоновке чертеже из элементов модели, созданных в пространстве модели. Компоновка выполняется активизацией команд контекстного меню, которое активизируется щелчком правой кнопки мыши на корешке вкладки ***Layout*** (Компоновка).

Переключаться между пространствами модели и листа можно также с помощью кнопки ***MODEL/PAPER*** (МОДЕЛЬ/ЛИСТ) в строке состояния.

5. ВИДОВЫЕ ЭКРАНЫ

Видовой экран (***Viewport***) – это участок графического экрана, на котором отображается часть пространства модели чертежа. Существует два типа видовых экранов – неперекрывающиеся и перекрывающиеся. Неперекрывающиеся видовые экраны располагаются на экране монитора подобно кафельным плиткам на стене. Они полностью заполняют графическую зону и не могут накладываться друг на друга. На плоттер неперекрывающиеся видовые экраны могут выводиться только по одному. Перекрывающиеся видовые экраны могут располагаться на экране и перемещаться по нему произвольным образом. Эти экраны могут накладываться друг на друга и печататься одновременно.

5.1. СОЗДАНИЕ НЕПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ ВИДОВЫХ ЭКРАНОВ

Графическую область в пространстве модели можно разбить на несколько неперекрывающихся видовых экранов. В процессе рисования все изменения, производимые на одном видовом экране, отражаются на остальных. Переключиться с одного видового экрана на другой можно в любой момент, даже в ходе выполнения команды. Границы активного видового экрана выделяются более толстой линией. Активизировать видовые экраны по очереди можно, нажав комбинацию клавиш <Ctrl+R> или щелкнув мышью на поле видового экрана.

Для создания видовых экранов используется команда ***VPORTS*** (ВЭКРАН), вызывающая диалоговое окно ***Viewports*** (Видовые экраны), показанное на рис. 161. С помощью этой команды графический экран разделяется на несколько неперекрывающихся видовых экранов, каждый из которых может содержать собственный вид чертежа.



- Команда ***VPORTS*** (ВЭКРАН) вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***Viewports*** (Видовые экраны) → ***New Viewports…***(Новые Видовые экраны…) или щелчком мыши по пиктограмме ***Display Viewports Dialog*** (Диалоговое окно видовых экранов) в стандартной или плавающей панели инструментов ***Viewports*** (Видовые экраны).

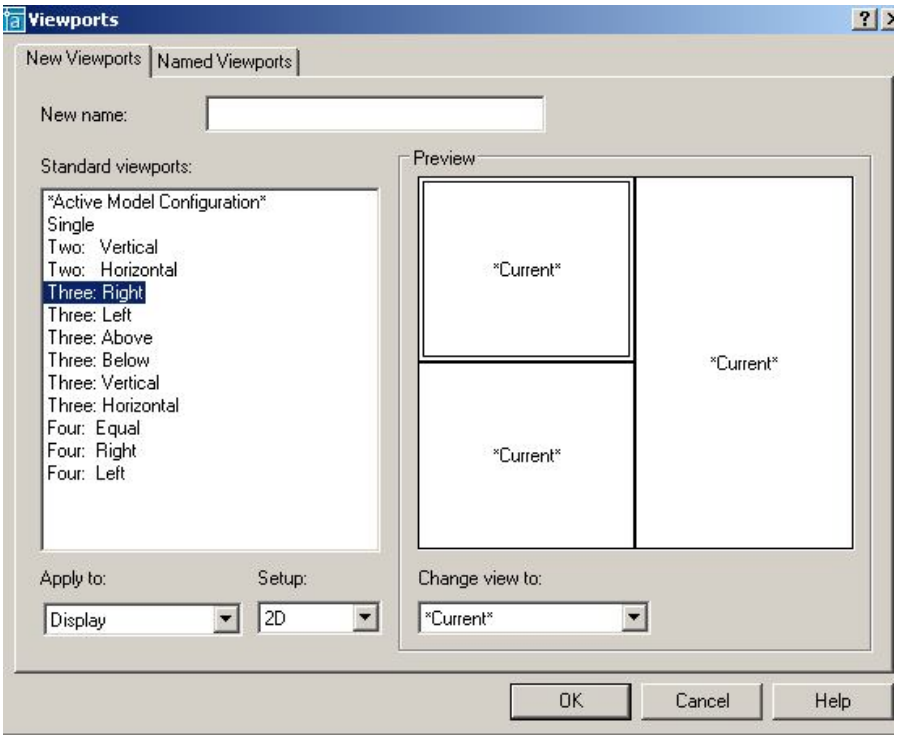
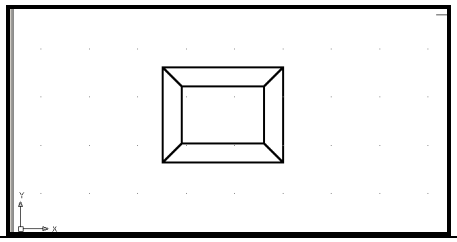
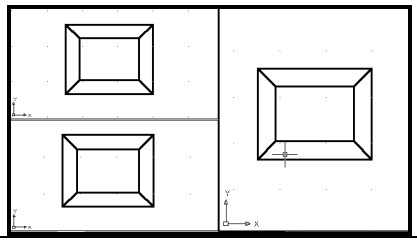


Рис. 161.

Выполнить упражнение № 91.

Создать три видовых экрана	*№ 91*
VPORTS Падающее меню ***View → Viewports → New Viewports…*** Enter an option [Save/Restore/Delete/Join/SIngle/?/2/3/4] <3>: _3 Enter a configuration option [Horizontal/Vertical/Above/Below/Left/Right] <Right>: Enter Regenerating model.	
	

6. УСТАНОВКА ВИДОВ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПОЛЕ

При построении трехмерной модели приходится работать более чем с одним видом объекта. Возможно, что изображение объекта будет достаточно информативным на одном виде и нечитаемым – на другом. В любом случае при работе с трехмерными объектами следует установить несколько видовых экранов, например, один – с видом в плане, другой – с видом слева, а третий – с аксонометрическим видом.

Установка направления взгляда производится в начале работы с моделью или в процессе создания модели. ***AutoCAD*** позволяет взглянуть на модель из любой точки пространства, даже изнутри изображаемого объекта. Установку нового вида в пространстве модели можно произвести с помощью команд:

1. ***VPOINT*** (Точка зрения) – позволяет вводить из командной строки точку зрения или угол поворота вида.
2. ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) – отображает диалоговое окно ***Viewpoint Presets*** (Задание точки зрения).
3. ***PLAN*** (План) – отображает вид в плане пользовательской или мировой системы координат.
4. ***DVIEW*** (Динамический вид) – определяет параллельную проекцию или перспективные виды.
5. ***3DORBIT*** (3-Орбита) – интерактивное отображение видов.

6.1. УСТАНОВКА НАПРАВЛЕНИЯ ВЗГЛЯДА

Команда ***VPOINT*** (Точка зрения) позволяет задать направление взгляда при определении вида и вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D View*** (3М Виды) → ***VPOINT*** (Точка зрения) или вводом в командную строку слова ***VPOINT*** с клавиатуры.

В ответ на команду система сообщает справочную информацию:

Current view direction: VIEWDIR=1.0000,-1.0000,1.0000

Specify a view point or [Rotate] <display compass and tripod>:

Возможные ответы:

- задать направление взгляда при определении вида, указав на графическом экране произвольную точку;
- нажать клавишу ***Enter***. На экране появляются компас и тройка осей, представляющие проекцию глобуса на плоскости. Центральная точка компаса совпадает с Северным

полюсом (0, 0, 1), внутренняя окружность – с экватором (n, n, 0), а внешняя – с Южным полюсом (0, 0, -1). Угол направления взгляда определяется указанием точки внутри компаса, а угол между направлением взгляда и плоскостью ***XY*** – ее расстоянием от центра компаса. В соответствии с точкой зрения на компасе изменяется ориентация тройки осей. Передвигая с помощью мыши перекрестие внутри окружностей и контролируя получившийся вид по тройке осей системы координат, можно получить требуемый вид.

- ***Rotate*** (Поворот) используется, если необходимо задать направление взгляда при определении вида путем указания.

Удобно также использовать плавающую панель инструментов ***View*** (Вид), содержащую ряд кнопок с типовыми видами объекта (рис. 162).



Рис. 162.

 — ***Named View*** (Именованные виды) – создание и сохранение видов;

 — ***Top View*** (Вид сверху) – установка точки зрения сверху (план, горизонтальная проекция);

 — ***Bottom View*** (Вид снизу) – установка точки зрения снизу;

 — ***Left View*** (Вид слева) – установка точки зрения слева (профильная проекция);

 — ***Right View*** (Вид справа) – установка точки зрения справа;

 — ***Front View*** (Вид спереди) – установка точки зрения спереди (фронтальная проекция);

 — ***Back View*** (Вид сзади) – установка точки зрения сзади;

 — ***SW Isometric View*** (ЮЗ изометрия) – установка юго-западного изометрического вида;

 — ***SE Isometric View*** (ЮВ изометрия) – установка юго-восточного изометрического вида;

 — ***NE Isometric View*** (СВ изометрия) – установка северо-восточного изометрического вида;



— ***NW Isometric View*** (СЗ изометрия) – установка северо-западного изометрического вида;



— ***Camera*** (Камера) – включение и установка положения камеры и цели.

Выполнить упражнение № 92.

Установить направление взгляда в трёх видовых окнах ***№ 92***

Падающее меню ***View → 3D Views***

В верхнем левом видовом окне установить Front (Вид спереди), вначале активизируйте это окно щелчком мыши на поле окна

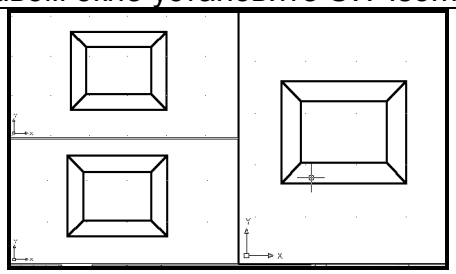


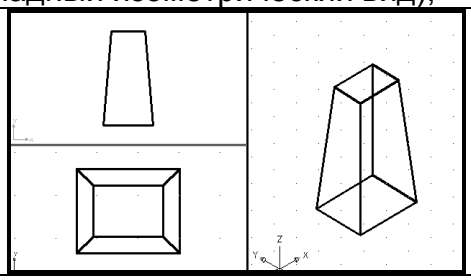
В нижнем левом видовом окне установить Top (Вид сверху), сделав это окно активным.





В правом окне установите SW Isometric (Юго-западный изометрический вид),





6.2. ЗАДАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЗГЛЯДА С ПОМОЩЬЮ ДИАЛОГОВОГО ОКНА

Команда ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) позволяет задать направление взгляда при определении вида и вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D View*** (3М Виды) → ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) или вводом в командную строку слова ***DDVPOINT*** с клавиатуры.

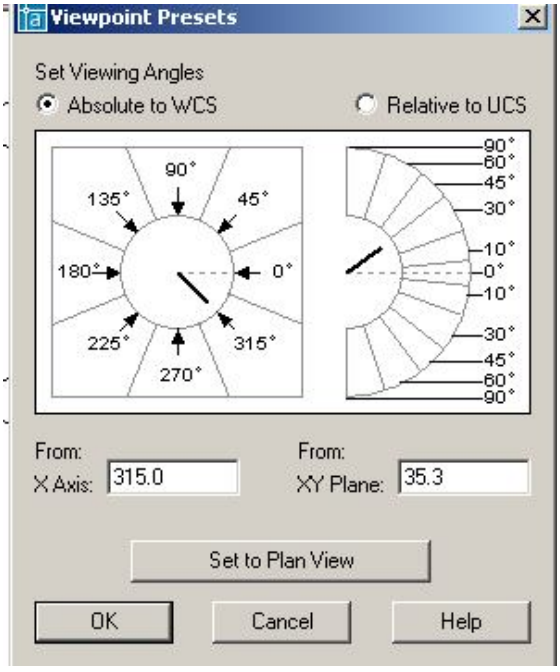


Рис. 163.

В ответ на команду система открывает диалоговое окно ***Viewpoint Presets*** (Задание точки зрения), представленное на рис. 163. Окно содержит следующие элементы управления: две кнопки выбора, графическое поле, два поля ввода и кнопку ***Set to Plan View***.

- Кнопка выбора ***Absolute to WCS*** устанавливает режим указания направления взгляда относительно мировой системы координат.
- Кнопка выбора ***Relative to UCS*** устанавливает режим указания направления взгляда относительно текущей системы координат.
- Графическое поле позволяет задать направление взгляда при помощи графического курсора.
- Поле ввода ***X axis*** позволяет задать числовое значение угла в плоскости ***XY*** между направлением взгляда и осью ***X***.

- Поле ввода ***XY Plane*** позволяет задать числовое значение угла между направлением взгляда и плоскостью ***XY***.
- Кнопка ***Set to Plan View*** задает направление взгляда, перпендикулярное плоскости ***XY*** текущей системы координат.

Команда ***DVIEW*** (Динамический вид). Установить направление взгляда можно с помощью команды ***DVIEW*** (Динамический вид), предназначенной для получения динамических трехмерных и перспективных видов. Эта команда используется также для зуммирования, панорамирования и вращения видов. Кроме того, с её помощью можно удалять с экрана объекты, расположенные перед секущей плоскостью или позади нее, а также скрытые линии – при динамическом просмотре объектов. Команда действует по принципу камеры, направленной в сторону цели. Линия между камерой и целью – это линия взгляда или направление взгляда. Имеется возможность при моделировании изменять фокусное расстояние «объектива» камеры от широкоугольного до телеобъектива. После выполнения команды чертеж полностью регенерируется.

6.3. УСТАНОВКА ПЛАНА ИЗОБРАЖЕНИЯ

PLAN (План) – позволяет получить ортогональную проекцию объектов на плоскость ***XY*** текущей, мировой или пользовательской систем координат. Пользоваться этой командой в пространстве листа недопустимо.

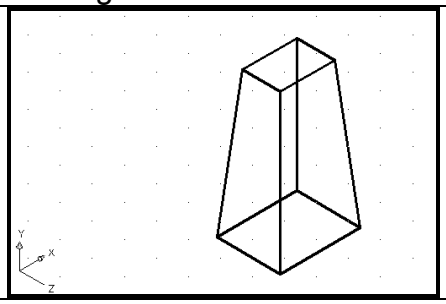
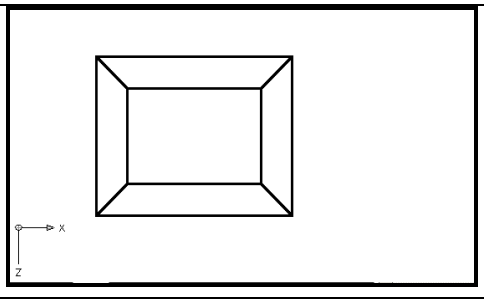
Команда ***PLAN*** (План) → ***Plan View*** (Вид в плане) соответственно пункты ***Current UCS*** (Текущая ПСК), ***World UCS*** (МСК) или ***Names UCS*** (По имени).

Опции команды:

- ***Current UCS*** (Текущая ПСК) – создает изображение текущей ПСК в плане на текущем видовом экране. Используется по умолчанию;
- ***UCS*** (ПСК) – переключает в план предварительно сохраненной ПСК и регенерирует изображение. ***AutoCAD*** запрашивает имя требуемой ПСК;
- ***World*** (Мир) – создает изображение в плане мировой системы координат.

Команда ***PLAN*** (План) изменяет направление взгляда и отключает перспективу, но не меняет текущей ПСК. Все координаты, вводимые или отображаемые после запуска этой команды, берутся относительно текущей ПСК.

Выполнить упражнения № 93.

Установить вид в плане	***№ 93***
Plan Падающее меню ***View → 3D Views → Plan View → World UCS*** Enter an option [Current ucs/Ucs/World] <Current>: _w Regenerating model.	
	

6.4. УСТАНОВКА ОРТОГОНАЛЬНЫХ И АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ВИДОВ



Для установки ортогональных и аксонометрических видов служит закладка ***Orthographic & Isometric Views*** (Ортогональные и изометрические виды) диалогового окна ***View*** (Вид), показанного на рис. 164. Это диалоговое окно вызывается вводом в командную строку слова ***VIEW*** с клавиатуры или из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D View…*** (3М Виды…). Кроме этого, можно щелкнуть на пиктограмме ***Named Views*** (Именованные виды) плавающей панели инструментов ***View*** (Вид), представленной на рис. 162.

Ортогональный вид, помещаемый на видовой экран, базируется по умолчанию на мировой системе координат. Однако пользователь может установить в качестве базовой любую из имеющихся в диалоговом окне именованных пользовательских систем координат (ПСК). После выбора одной из ПСК необходимо сделать эту систему текущей, то есть нажать кнопку ***Set Current***, в подтверждении, что выбранная ПСК является текущей, рядом с её названием появляется маркер. Нажатием кнопки ***OK AutoCAD*** выводит на экран выбранную пользовательскую систему координат.

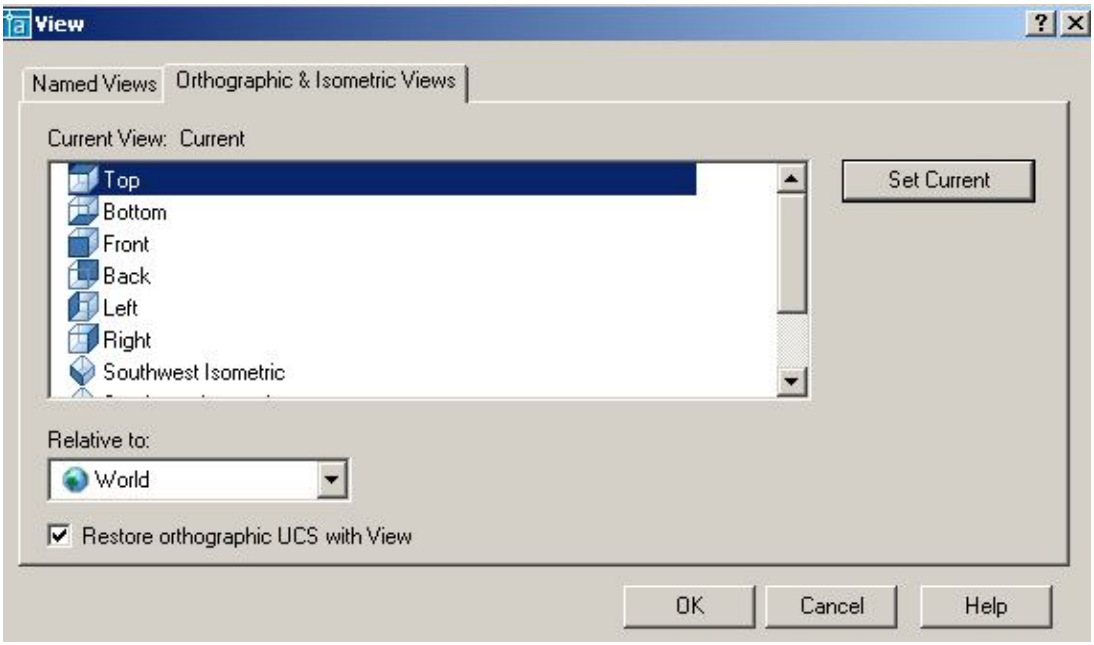


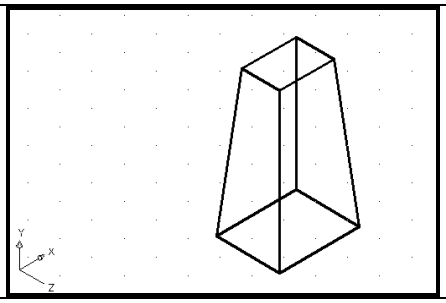
Рис. 164.

6.5. ИНТЕРАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОЧКОЙ ВЗГЛЯДА



Команда ***3DORBIT*** (3-орбита) позволяет задать направление взгляда при определении вида и параметры отображения. Вид модели в это время управляется с помощью устройства указания, то есть изменение направления взгляда при определении вида производится путем перемещения мыши при нажатой левой кнопке. С орбиты могут рассматриваться как вся модель, так и её отдельные части. Команда вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D Orbit*** (3М Орбита) или щелчком мыши по пиктограмме ***3D Orbit*** (3М Орбита) стандартной панели инструментов, или щелчком мыши по пиктограмме ***3D Orbit*** (3М Орбита) плавающей панели инструментов ***3D Orbit***, или вводом в командную строку слова ***3DORBIT*** с клавиатуры. Для завершения работы с командой необходимо нажать клавишу ***Enter***.

Выполнить упражнение № 94.

Установить точку зрения	*№ 94*
 ***3D Orbit*** Падающее меню ***View → 3D Orbit*** Удерживая нажатой левую кнопку мыши, установить желаемую точку зрения Для выхода из команды нажать Enter.	
	

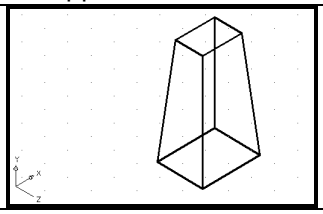
6.6. ДИНАМИЧЕСКОЕ ВРАЩЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ



Команда ***3DCORBIT*** (3МД Орбита) позволяет просматривать вращающееся изображение объектов в режиме реального времени. Команда вызывается вводом в командную строку слова ***3DCORBIT*** с клавиатуры или щелчком мыши по пиктограмме ***3D Continuous Orbit*** (3МД Орбита) плавающей панели инструментов ***3D Orbit***. Для завершения работы с командой необходимо нажать клавишу ***Enter***.

Вращение изображения объектов задается путем перемещения курсора по графическому полю экрана при нажатой левой кнопке мыши. При этом направление вращения определяется направлением перемещения курсора, а скорость вращения – скоростью перемещения курсора. Вращение изображения начинается после того, как будет отпущена левая кнопка мыши.

Выполнить упражнение № 95.

Установить точку зрения	*№ 95*
 ***3DC Orbit*** Удерживая нажатой левую кнопку мыши, задать вращательный момент детали и отпустить кнопку. Для фиксации точки зрения сделать щелчок мышью. Для выхода из команды нажать Enter.	
	

7. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСОВ

Элементарными трехмерными объектами системы ***AutoCAD*****,** предназначенными, прежде всего для каркасного моделирования, являются отрезки, сплайны и полилинии. Первые два типа объектов создаются при помощи тех же команд ***LINE*** и ***SPLINE***, которые используются при плоском черчении. Особенностью при их использовании в трёхмерном пространстве является то, что при задании координат точек следует указывать и координату по оси ***Z*** (при плоском черчении эта координата опускается). При указании точек графическим курсором следует пользоваться объектной привязкой, так как в противном случае система воспринимает указанные точки как лежащие на плоскости ***XY*** текущей системы координат. Трех-

мерные полилинии создаются при помощи специальной команды ***3DPOLY***. Эта команда позволяет создавать полилинию, состоящую только из прямолинейных сегментов, поэтому для создания сглаженных линий используют команду ***REDIT*** (Редактирование трехмерных полилиний).

7.1. ТРЕХМЕРНАЯ ПОЛИЛИНИЯ

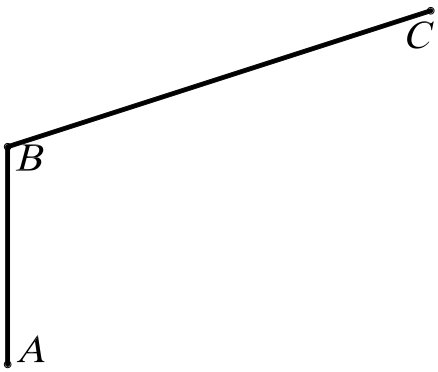


Команда ***3DPOLY*** (3М ПЛиния) – построение трехмерной полилинии – вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***3Dpoly*** (3М ПЛиния), щелчком мыши по пиктограмме ***3Dpoly*** (3М ПЛиния) панели инструментов ***Draw*** (Рисовать) или вводом в командную строку слова ***3DPOLY*** с клавиатуры

Опции команды:

- ***Undo*** (Отмена) – используется для отмены создания последнего отрезка;
- ***Close*** (Замкнуть) – используется для замыкания построенной полилинии и завершения работы с командой.

Выполнить упражнение № 96.

Построить трехмерную полилинию	***№ 96***
 ***3D Polyline*** Падающее меню ***Draw*** → ***3D Polyline*** Specify start point of polyline: 100,100,0 Specify endpoint of line or [Undo]: @0,0,80 Specify endpoint of line or [Undo]: @90,90,50 Specify endpoint of line or [Close/Undo]:	
	

7.2. СРЕДСТВА РЕДАКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ПОЛИЛИНИИ



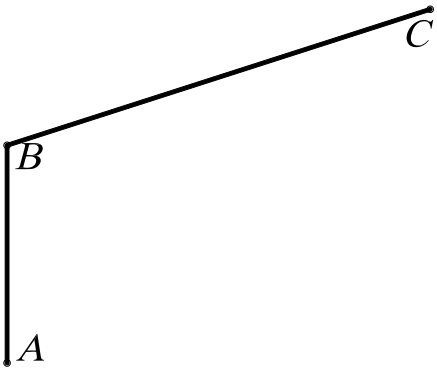
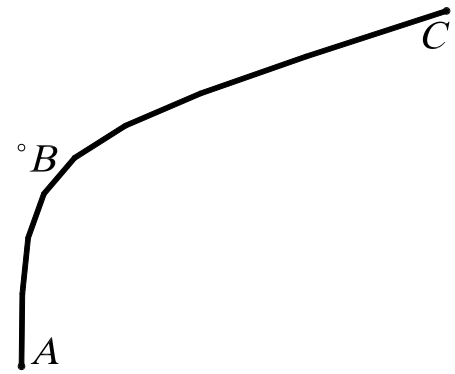
- ***PEDIT*** (Изменить полилинию) позволяет редактировать трехмерные полилинии и вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Object*** (Объект) →***Polyline*** (Полилиния), щелчком мыши по пиктограмме ***Pedit*** (Изменить полилинию) панели инструментов ***Modify II*** (Редактировать II) или вводом в командную строку слова ***PEDIT*** с клавиатуры.

Опции команды:

- ***Multiple*** (Много) – используется, если необходимо одинаковым образом отредактировать несколько полилиний; в этом случае система потребует указать эти полилинии;

- ***Close*** (Замкнуть) – используется, если необходимо замкнуть полилинию, при этом система добавляет сегмент, соединяющий начальную и конечную точки полилинии; если выбранная полилиния замкнута, то в списке параметров вариант ***Close*** заменяется вариантом ***Open***;
- ***Open*** (Разомкнуть) – используется, если необходимо разомкнуть полилинию, при этом система удаляет сегмент, соединяющий конечную и начальную точки;
- ***Edit vertex*** (Редактировать вершину) – используется для редактирования вершин полилинии. Дальнейшая работа в режиме редактирования вершин производится так же, как и в случае редактирования плоской полилинии;
- ***Spline curve*** (Сгладить) – используется для преобразования полилинии в гладкую с использованием аппарата B-сплайнов, при этом данная кривая в общем случае не приходит через вершины исходной полилинии;
- ***Decurve*** (Отменить сглаживание) – используется для отмены преобразования полилинии в гладкую кривую;
- ***Undo*** (Отменить) – используется для отмены последнего изменения.

Выполнить упражнение № 97

Сгладить трехмерную полилинию	***№ 97***
	***PEDIT*** Падающее меню ***Modify → Object→ Polyline*** Enter an option [Close/Edit vertex/Spline curve/Decurve/Undo]: s режим сглаживания полилинии Enter an option [Close/Edit vertex/Spline curve/Decurve/Undo]: Enter
	

8. ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Команды построения твердотельных объектов (примитивов) запускаются из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) или из плавающей панели инструментов ***Solids*** (Тела), представленной на рис. 165.

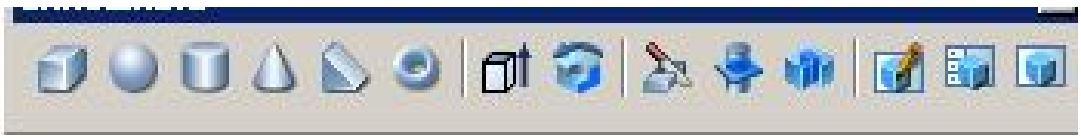


Рис. 165.

При создании твердотельных примитивов используется три основных способа:

1. Стандартные библиотечные тела: ***Box*** (Ящик), ***Wedge*** (Клин), ***Cone*** (Конус), ***Cylinder*** (Цилиндр), ***Sphere*** (Шар), ***Torus*** (Тор). Задание количества изолиний при создании стандартных (библиотечных) тел вращения выполняется системной переменной ***ISOLINES*** (по умолчанию количество изолиний равно четырем). Для увеличения количества в командную строку вводится слово ***ISOLINES*** с клавиатуры, а затем нужное количество.

2. Тела пользователя (примитивы заданной формы) создаются путем выдавливания, осуществляемого командой ***Extrude*** (Выдавить), или вращения – командой ***Revolve*** (Вращать) – двумерного объекта (плоского контура) ***Region***.

3. Тела, созданные комбинированием нескольких тел, с использованием команд ***Union*** (Объединение), ***Subtract*** (Вычитание), ***Intersect*** (Пересечение), которые запускаются из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) или из плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел).

9. СТАНДАРТНЫЕ ТЕЛА

9.1. ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД

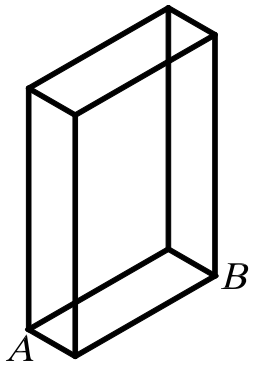


– Команда ***Box*** (Ящик) – формирование твердотельного параллелепипеда (ящика, куба) с ребрами, параллельными осям текущей системы координат, то есть основание параллелепипеда всегда параллельно плоскости ***XY*** текущей ПСК. Команда ***Box*** (Ящик) вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) → ***Box*** (Ящик) или щелчком мыши по пиктограмме ***Box*** (Ящик) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды:

- ***Center*** (Центр) – определяет параллелепипед с помощью указания его центральной точки;
- ***Cube*** (Куб) – создает куб, то есть параллелепипед, у которого все ребра равны;
- ***Length*** (Длина) – создает параллелепипед с заданными длиной (по оси X), шириной (по оси Y) и высотой (по оси Z) текущей системы координат.

Выполнить упражнение № 98.

Построить параллелепипед	***№ 98***
 ***Box*** Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Box*** Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>: 100,100 указать первый угол A основания параллелепипеда Specify corner or [Cube/Length]: 120,160 указать второй угол B основания параллелепипеда Specify height: 90 высота параллелепипеда	
	

9.2. КЛИН



– Команда ***Wedge*** (Клин) – построение прямой призмы («клина») с основанием в виде прямоугольного треугольника, параллельным плоскости ***XY*** текущей системы координат. Команда ***Wedge*** (Клин) вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Wedge*** (Клин) или щелчком мыши по пиктограмме ***Wedge*** (Клин) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

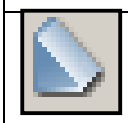
Основание клина всегда параллельно плоскости ***XY*** текущей системы координат, при этом наклонная грань располагается напротив первого указанного угла основания. Высота клина может быть как положительной, так и отрицательной.

Опции команды:

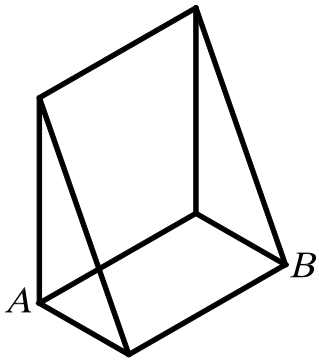
- ***CEnter*** (Центр клина) – точка пересечения диагоналей наклонной грани клина;
- ***Cube*** (Куб) – используется для построения призмы, вписанной в куб;
- ***Length*** (Длина) – используется для задания длин сторон нижней грани клина.

Выполнить упражнение № 99.

Построить клин (призму)	***№ 99***



Wedge Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Wedge***
Specify first corner of wedge or [Center] <0,0,0>: 150,130 указать точку A
Specify corner or [Cube/Length]: 190,200 указать точку B
Specify height: 80 высота.



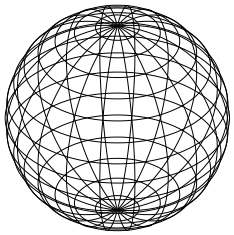
9.3. СФЕРА



– Команда ***Sphere*** (Сфера) – построение твердотельного шара (сферы), вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Sphere*** (Сфера) или щелчком мыши по пиктограмме ***Sphere*** (Сфера) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Сфера задается центром и радиусом (или диаметром), то есть при необходимости задания сферы центром и диаметром в командную строку ввести ***D*** (***Diameter)***. Ось вращения шара параллельна оси ***Z*** текущей системы координат.

Выполнить упражнение № 100. Перед построением сферы, для улучшения наглядности изображения, увеличить число изолиний. Для этого в командную строку вводится слово ISOLINES с клавиатуры, а затем нужное количество: Enter new value for ISOLINES <4>: 20.

Построить сферу	*№ 100*
	***Sphere*** Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Sphere*** Current wire frame density: ISOLINES=20 Specify center of sphere <0,0,0>: 100,100,70 указать центр сферы Specify radius of sphere or [Diameter]: 50 величина радиуса
	

9.4. КОНУС



– Команда ***Cone*** (Конус) – построение твердотельного конуса, вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Cone*** (Конус) или щелчком мыши по пиктограмме ***Cone*** (Конус) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды:

- ***Eliptical*** (Эллиптический) – используется для построения эллиптического конуса;
- ***Axis endpoint*** (Конечная точка оси) – создает эллиптическое основание конуса, для чего нужно указать точками длину одной оси и половину другой оси, как при построении эллипса. Выбор этой опции осуществляется автоматически при указании координат точки;
- ***Center*** (Центр) – позволяет задать эллиптическое основание конуса, для чего следует указать координаты его центральной точки и значение радиуса по каждой из осей эллипса;
- ***Apex*** (Вершина) – определяет высоту и ориентацию конуса, для этого нужно любым известным способом задать положение вершины конуса;
- ***Height*** (Высота) – устанавливает только высоту конуса, но не ориентацию. Ориентация определяется знаком, стоящим перед значением высоты: при знаке «+» высота откладывается в сторону положительного значения оси ***Z***, при знаке «-» - в сторону отрицательного значения оси ***Z***, то есть строится нижняя или верхняя полупола конуса;
- ***Center point*** (Центральная точка) – создает круговое основание;
- ***Radius*** (Радиус) – позволяет задать круговое основание конуса, для чего нужно ввести центр и радиус основания;
- ***Diameter*** (Диаметр) – используется, если необходимо задать диаметр основания конуса.

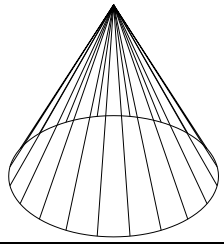
Выполнить упражнения № 101, 102.

Перед построением конуса, для улучшения наглядности изображения, увеличить число изолиний. Для этого в командную строку вводится слово ISOLINES с клавиатуры, а затем нужное количество: Enter new value for ISOLINES <4>: 20.

Построить круговой конус ***№ 101***



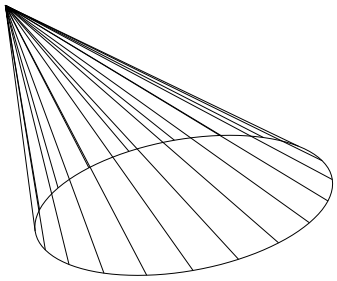
Cone Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Cone***
Current wire frame density: ISOLINES=20
Specify center point for base of cone or [Elliptical] <0,0,0>: 100,100 центр основания
Specify radius for base of cone or [Diameter]: 45 радиус основания
Specify height of cone or [Apex]: 90 высота



Построить эллиптический конус ***№ 102***



Cone Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Cone***
Current wire frame density: ISOLINES=20
Specify center point for base of cone or [Elliptical] <0,0,0>: E
режим эллиптического конуса
Specify axis endpoint of ellipse for base of cone or [Center]: 100,100 указать первую точку первой оси эллипса (основания).
Specify second axis endpoint of ellipse for base of cone: 190,200 указать вторую точку первой оси эллипса (основания).
Specify length of other axis for base of cone: 30 указать длину половины второй оси эллипса (основания).
Specify height of cone or [Apex]: A режим для задания вершины конуса
Specify apex point: 110,100,90 координаты вершины конуса



9.5. ЦИЛИНДР



– Команда ***Cylinder*** (Цилиндр) – построение твердотельного цилиндра, вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) → ***Cylinder*** (Цилиндр) или щелчком мыши по пиктограмме ***Cylinder*** (Цилиндр) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды ***Cylinder*** (Цилиндр) аналогичны опциям команды ***Cone*** (Конус). Ось цилиндра параллельна оси ***Z*** текущей системы координат. В данной команде опция ***Apex*** (Вершина) называется ***Center of other end*** (центр другого основания).

Выполнить упражнение № 103.

Построить цилиндр	***№ 103***

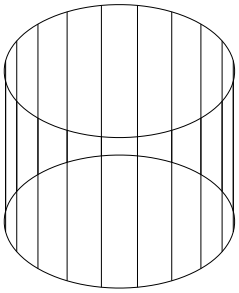
Cylinder Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Cylinder***

Current wire frame density: ISOLINES=20

Specify center point for base of cylinder or [Elliptical] <0,0,0>: 100,100 центр основания

Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: 50 радиус основания

Specify height of cylinder or [Center of other end]: 80 высота



9.6. ТОР

– Команда ***Torus*** (Тор) – построение твердотельного тора, вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) → ***Torus*** (Тор) или щелчком мыши по пиктограмме ***Torus*** (Тор) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Тор (круговое кольцо) или открытый тор образуется при вращении окружности вокруг оси, лежащей в ее плоскости, но не проходящей через ее центр. У открытого тора различают внутреннюю часть – глобоид и внешнюю. Если окружность пересекает ось тора, то дуга окружности описывает поверхность, напоминающую форму мяча для регби, которая называется закрытым тором. У закрытого тора различают: тор-«яблоко» и тор-«веретено».

Для построения тора необходимо ввести значения двух радиусов: радиуса образующей окружности-трубы (***Tube***) и радиуса, определяющего расстояние от центра тора до центра образующей окружности-трубы (***Tube***).

Выполнить упражнения № 104 - 106.

Построить открытый тор	***№ 104***

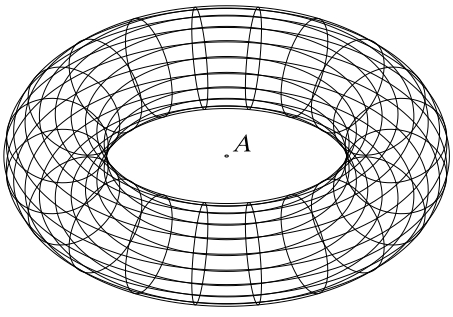
Torus Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Torus***

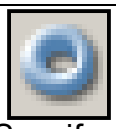
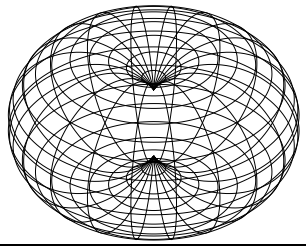
Current wire frame density: ISOLINES=20

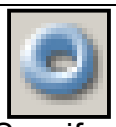
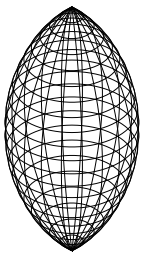
Specify center of torus <0,0,0>: 100,100,60 указать центр тора – точка А

Specify radius of torus or [Diameter]: 100 указать радиус тора

Specify radius of tube or [Diameter]: 30 указать радиус образующей окружности-трубы



Построить тор-«яблоко»	*№ 105*
 ***Torus*** Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Torus*** Current wire frame density: ISOLINES=20 Specify center of torus <0,0,0>: 100,100,60 указать центр тора Specify radius of torus or [Diameter]: 60 указать радиус тора Specify radius of tube or [Diameter]: 70 указать радиус образующей окружности-трубы	
	

Построить тор-«веретено»	*№ 106*
 ***Torus*** Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Torus*** Current wire frame density: ISOLINES=20 Specify center of torus <0,0,0>: 100,100,60 указать центр тора Specify radius of torus or [Diameter]: -60 указать радиус тора Specify radius of tube or [Diameter]: 90 указать радиус образующей окружности-трубы	
	

Радиус тора можно задавать отрицательным значением, но тогда значение радиуса образующей окружности должно быть положительным и превосходить абсолютное значение радиуса тора, то есть в этом случае получается закрытый тор. Данное условие необходимо соблюдать, чтобы не получить в итоге пустое тело (тело без объема).

10. ТЕЛА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

10.1. ВЫДАВЛЕННОЕ ТЕЛО

 – Команда ***Extrude*** (Выдавить) – позволяет создавать твердотельные объекты путем «выдавливания» плоского контура (добавляя высоту). Вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Extrude*** (Выдавить) или щелчком мыши по пиктограмме ***Extrude*** (Выдавить) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опция команды:

- ***Path*** (Траектория) – используется для «выдавливания» объекта вдоль направляющей траектории.
- ***Taper angle*** (Угол конусности) – используется для задания угла конусности создаваемого тела, то есть угла между направлением выдавливания и образующими боковых поверхностей тела.

Исходными объектами для «выдавливания» могут являться плоские грани (примитивы ***3D Faces***), замкнутые полилинии, многоугольники, окружности, эллипсы, замкнутые сплайны, кольца и области (***Region***). «Выдавливание» объекта происходит перпендикулярно плос-

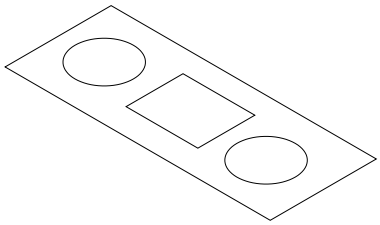
кости ***XY*** текущей системы координат. Объектами-направляющими, вдоль которых может производиться «выдавливание», могут служить отрезки, окружности, дуги окружностей, эллипсы, дуги эллипсов, полилинии или сплайны. При «выдавливании» контура вдоль направляющей угол его наклона относительно направляющей остается постоянным. При создании твердых тел исходные контуры удаляются.

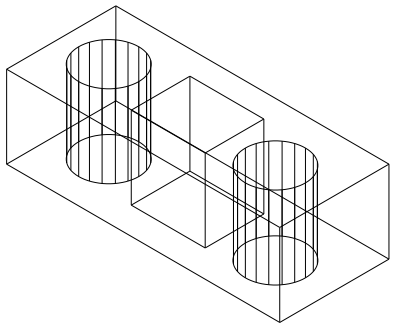
Выполнить упражнения № 107 – 110. Перед выполнением упражнений создайте плоские контуры типа ***Region*** или ***Pline***, ***3D Polyline***.

Построить выдавленное тело ***№ 107***



Extrude Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Extrude***
Current wire frame density: ISOLINES=20
Select objects: Specify opposite corner: выбрать все объекты рамкой
Select objects: Enter
Specify height of extrusion or [Path]: 60 высота
Specify angle of taper for extrusion <0>: Enter угол конусности равен нулю.

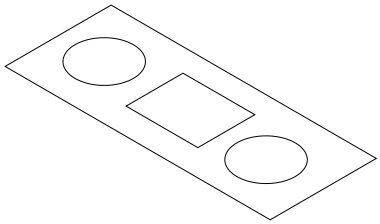


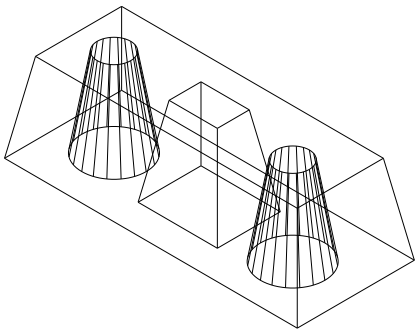


Построить выдавленное тело, имеющее угол конусности ***№ 108***



Extrude Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Extrude***
Current wire frame density: ISOLINES=20
Select objects: Specify opposite corner: выбрать все объекты рамкой
Select objects: Enter
Specify height of extrusion or [Path]: 60 высота
Specify angle of taper for extrusion <0>: 10 угол конусности.





Значение угла конусности «выдавливаемого» тела должно лежать в пределах от -90^0 до $+90^0$, причем это значение не должно задавать создание самопересекающегося тела.

Построить выдавленное тело вдоль траектории полилинии ***№ 109***



Extrude Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Extrude***

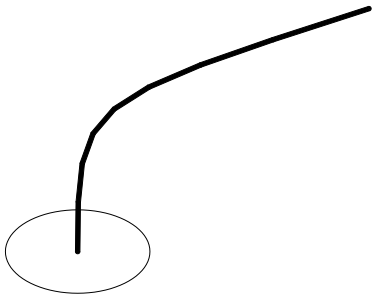
Current wire frame density: ISOLINES=20

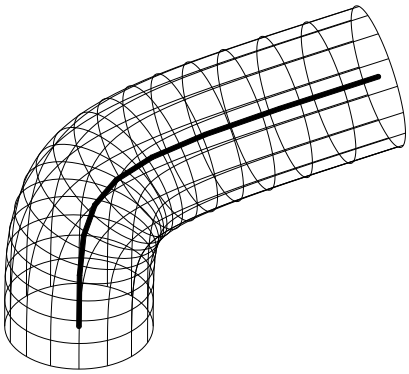
Select objects: указать на окружность

Select objects: Enter

Specify height of extrusion or [Path]: P выдавить по траектории

Select extrusion path or [Taper angle]: указать на полилинию





Построить выдавленное тело, имеющее угол конусности, вдоль траектории полилинии ***№ 110***



Extrude Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Extrude***

Current wire frame density: ISOLINES=20

Select objects: указать на окружность

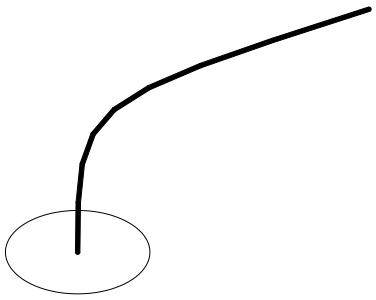
Select objects: Enter

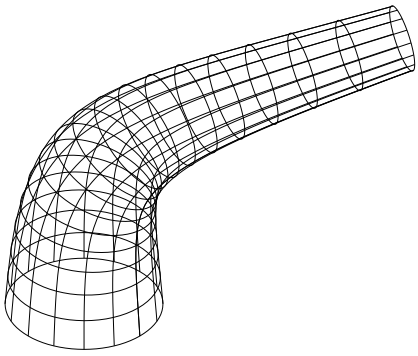
Specify height of extrusion or [Path]: P выдавить по траектории

Select extrusion path or [Taper angle]: T задать угол конусности

Specify angle of taper for extrusion <0>: 5 значение угла конусности

Select extrusion path: указать на полилинию.





10.2. ТЕЛО ВРАЩЕНИЯ



– Команда ***Revolve*** (Вращать) – позволяет создавать твердотельные объекты путем вращения плоского контура. Вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Revolve*** (Вращать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Revolve*** (Вращать) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

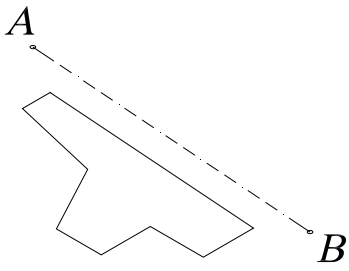
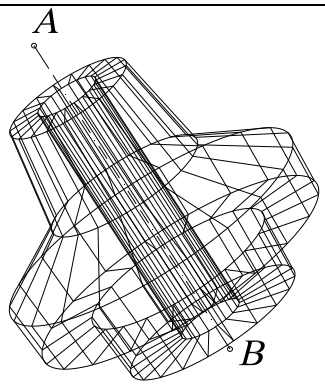
Исходными объектами для вращения могут служить замкнутые полилинии, многоугольники, окружности, эллипсы, замкнутые сплайны, кольца и области (***Region***). Объектами, задающими направление оси вращения, могут служить отрезки и плоские полилинии. В

последнем случае за ось вращения принимается линия, проходящая через начальную и конечную точки полилинии. При создании твердых тел вращения исходные контуры удаляются.

Опции команды:

- ***Object*** (Объект) – используется для задания оси, определяемой некоторым объектом, то есть необходимо указать объект, который определяет ось вращения;
- ***X (axis)*** (X ось) – используется для задания оси вращения, совпадающей с осью X текущей системы координат;
- ***Y (axis)*** (Y ось) – используется для задания оси вращения, совпадающей с осью Y текущей системы координат.

Выполнить упражнение № 111.

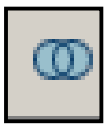
Построить тело вращения	***№ 111***
 ***Revolve*** Падающее меню ***Draw → Solids → Revolve*** Current wire frame density: ISOLINES=20 Select objects: указать плоский контур Select objects: Enter Specify start point for axis of revolution or define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: указать точку A на оси вращения Specify endpoint of axis: указать точку B на оси вращения Specify angle of revolution <360>: Enter угол поворота контура на 360^0. Установить точку зрения командой 3D Orbit.	
	

11. ТЕЛА, СОЗДАННЫЕ КОМБИНИРОВАНИЕМ НЕСКОЛЬКИХ ТЕЛ

Для создания тел из базовых твердотельных примитивов в ***AutoCAD*** имеются команды, осуществляющие операции теории множеств:

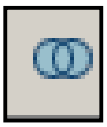
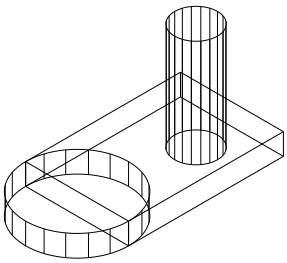
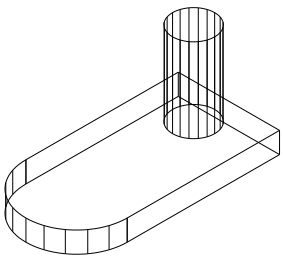
1. ***Union*** (Объединение) – создает сложный твердотельный объект путем объединения нескольких объектов;
2. ***Subtract*** (Вычитание) – позволяет создать новые область или твердотельный объект путем исключения (вычитания) аналогичных объектов. Например, эту команду можно использовать для получения сквозных цилиндрических отверстий в деталях путем вычитания цилиндров;
3. ***Intersect*** (Пересечение) – позволяет создать новый твердотельный объект, который является общей частью всех указанных объектов.

11.1. ОБЪЕДИНЕНИЕ ОБЪЕКТОВ



– Команда ***Union*** (Объединение) вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) → ***Union*** (Объединение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Union*** (Объединение) плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел).

Выполнить упражнение № 112.

Построить тело путем объединения заданных тел	***№ 112***
 ***Union*** Падающее меню ***Modify → Solids Editing → Union*** Select objects: указать точку на одном цилиндре Select objects: указать точку на втором цилиндре Select objects: указать точку на параллелепипеде Select objects: Enter	
	

Если указанные пользователем твердотельные объекты не пересекаются и не касаются друг друга, то система выполнит формальное объединение этих тел. При этом вновь созданный объект будет восприниматься системой как единое целое, хотя в физическом смысле такой объект будет являться набором отдельных невзаимосвязанных тел.

11.2. ВЫЧИТАНИЕ ОБЪЕКТОВ



– Команда ***Subtract*** (Вычитание) вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) → ***Subtract*** (Вычитание) или щелчком мыши по пиктограмме ***Subtract*** (Вычитание) плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел).

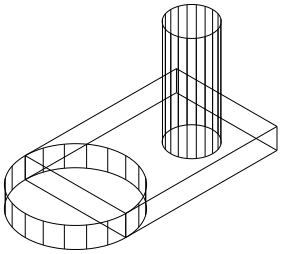
Вычитаемые объекты после выполнения команды удаляются. Если исходное и вычитаемое тела не пересекаются, то в результате выполнения команды ***Subtract*** (Вычитание) будет просто удалено вычитаемое тело. Необходимо помнить, что после завершения указания исходных объектов, из которых необходимо исключить другие объекты, нужно нажать клавишу ***Enter***.

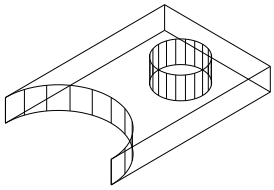
Выполнить упражнение № 113.

Построить тело путем вычитания заданных тел	*№ 113*

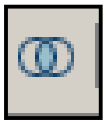


Subtract Падающее меню ***Modify*** → ***Solids Editing*** → ***Subtract***
Select solids and regions to subtract from ..
Select objects: указать точку на параллелепипеде
Select objects: Enter
Select solids and regions to subtract ..
Select objects: указать один цилиндр
Select objects: указать второй цилиндр
Select objects: Enter





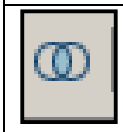
11.3. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ



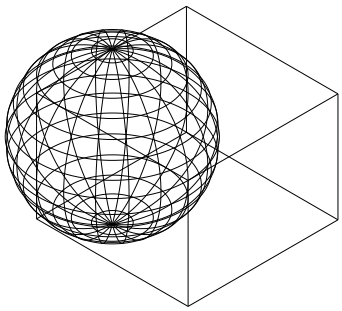
– Команда ***Intersect*** (Пересечение) вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) → ***Intersect*** (Пересечение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Intersect*** (Пересечение) плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел).

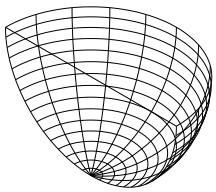
Выполнить упражнение № 114.

Построить тело путем пересечения заданных тел	*№ 114*



Intersect
Падающее меню ***Modify*** → ***Solids Editing*** → ***Intersect***
Select objects: выбрать сферу, указав на её любую точку
Select objects: выбрать параллелепипед, указав на любую его точку
Select objects: Enter





Все исходные тела, на основе которых создается новый объект, удаляются. Если исходные тела не пересекаются, то в результате выполнения команды ***Intersect*** (Пересечение) эти тела будут просто удалены.

12. ОБЩИЕ СРЕДСТВА РЕДАКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для редактирования любых трехмерных объектов могут применяться такие универсальные команды, как ***Properties*** (Свойства), ***Copy*** (Копировать), ***Erase*** (Удалить), ***Explode*** (Взорвать), ***Move*** (Переместить), ***OOPS*** (Восстанавливает уничтоженные командой ***Erase*** объекты), ***Redo*** (Отменяет действие одной предыдущей команды: ***Undo*** или ***U***), ***Scale*** (Масштабировать), ***Undo*** (Отменяет действие нескольких команд), а также средство редактирования ***Grips*** («Ручки»). Работа со всеми этими средствами ведется так же, как и при плоском черчении. Кроме того, существуют команды редактирования только в трехмерном пространстве, например, команды поворота, создания массива объектов, зеркальное отображение, снятие фаски, скругления, которые имеют рад особенностей в трехмерном моделировании. Ниже рассматриваются эти команды.

12.1. ПОВОРОТ ВОКРУГ ОСИ

В двумерном пространстве команда ***Rotate*** (Повернуть) производит поворот объекта вокруг указанной точки, при этом направление поворота определяется текущей пользовательской системой координат.

При использовании этой команды применительно к трехмерным объектам производится их поворот относительно оси, проходящей через заданную точку и перпендикулярной плоскости ***XY*** текущей системы координат. Ось поворота может определяться следующими способами: указанием двух точек, объекта, одной из осей координат (***X***, ***Y***, ***Z***), текущего направления взгляда.

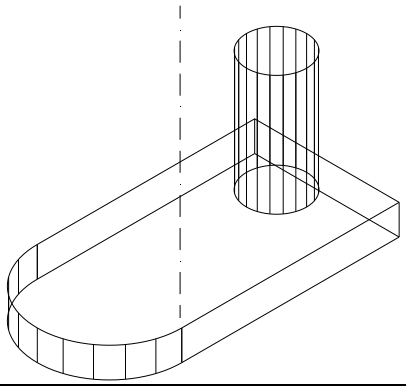
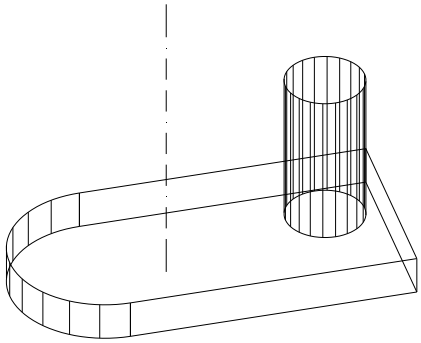
Команда ***Rotate3D*** (Повернуть-3М) поворачивает объекты относительно произвольно направленной оси. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***3D Operation*** (3М операции) → ***Rotate3D*** (Повернуть-3М) или вводом в командную строку слова ***Rotate3D*** с клавиатуры.

Опции команды:

- ***Object*** (Объект) – поворот вокруг выбранного объекта. Такими объектами могут быть отрезок, окружность, дуга или сегмент двумерной полилинии;
- ***Last*** (Последняя) – поворот вокруг оси, использовавшейся в предыдущей команде поворота;
- ***View*** (Вид) – поворот вокруг оси, выровненной вдоль направления вида текущего видового экрана и проходящей через заданною точку, то есть ось перпендикулярна плоскости экрана;
- ***Xaxis*** (X ось), ***Yaxis*** (Y ось), ***Zaxis*** (Z ось) – поворот вокруг оси, выровненной вдоль направления соответственно осей ***X***, ***Y***, ***Z*** и проходящей через заданную точку;
- ***2point*** (2 точки) – поворот вокруг оси, проходящей через две заданные точки;
- ***Reference*** (Относительно) – используется для задания относительного угла поворота.

Для определения положительного направления вращения следует ориентировать большой палец правой руки в положительном направлении оси и согнуть остальные пальцы. Положительное направление вращения будет совпадать с направлением, указываемым согнутыми пальцами. Если ось задается двумя точками, то вторая точка указывает положительное направление оси.

Выполнить упражнение № 115.

Повернуть тело вокруг оси	***№ 115***
Rotate3D Падающее меню ***Modify → 3D Operation → Rotate3D*** Current positive angle: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0 Select objects: выбрать объект, который нужно повернуть Select objects: Enter Specify first point on axis or define axis by [Object/Last/View/Xaxis/Yaxis/Zaxis/2points]: указать верхнюю точку на оси (начало оси) Specify second point on axis: указать нижнюю точку на оси (направление «+» оси) Specify rotation angle or [Reference]: 30 угол положительный, так как положительное направление оси вниз, а положительный угол определяется по правилу правой руки.	
	

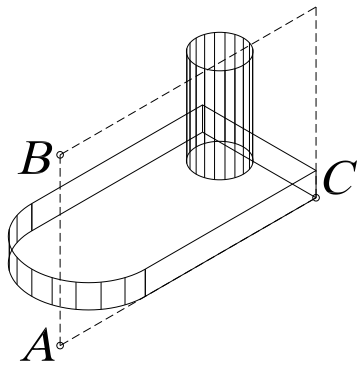
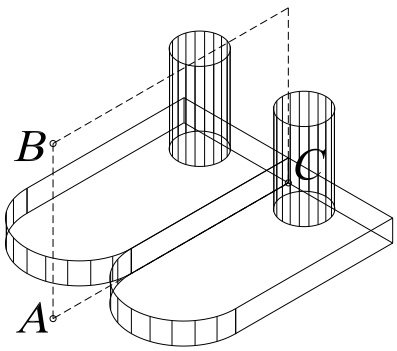
12.2. ЗЕРКАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОСКОСТИ (ПЛОСКОСТНАЯ СИММЕТРИЯ)

Команда ***Mirror3D*** (Повернуть-3М) позволяет создать зеркальную копию объектов относительно произвольно расположенной плоскости. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***3D Operation*** (3М операции) → ***Mirror3D*** (Повернуть-3М) или вводом в командную строку слова ***Mirror3D*** с клавиатуры.

Опции команды:

- ***Object*** (Объект) – отображение относительно выбранного плоского объекта. Такими объектами могут быть отрезок, окружность, дуга или сегмент двумерной полилинии;
- ***Last*** (Последняя) – отображение относительно плоскости, использовавшейся в предыдущей команде поворота;
- ***Zaxis*** (Z ось) – отображение относительно плоскости, заданной двумя точками, первая из которых лежит на плоскости, а вторая определяет вектор нормали к этой плоскости;
- ***View*** (Вид) – отображение относительно плоскости, выровненной с плоскостью видового экрана, то есть параллельной плоскости экрана;
- ***XY*** (XY), ***YZ*** (YZ), ***ZX*** (ZX) – отображение относительно плоскости, параллельной плоскости соответственно ***XY***, ***YZ*** или ***ZX*** текущей системы координат и проходящей через заданную точку;
- ***3point*** (3 точки) – отображение относительно плоскости, проходящей через три заданные точки.

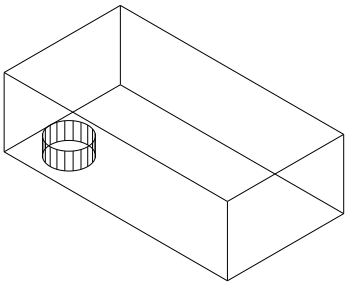
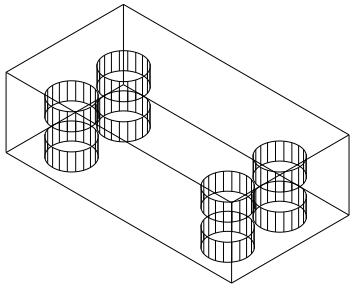
Выполнить упражнение № 116.

Построить плоскостную симметрию объекта	***№ 116***
Mirror3D Падающее меню ***Modify → 3D Operation → Mirror3D*** Select objects: выбрать объект Select objects: Enter Specify first point of mirror plane (3 points) or [Object/Last/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>: указать точку A Specify second point on mirror plane: указать точку B Specify third point on mirror plane: указать точку C Delete source objects? [Yes/No] <N>: не удалять исходный объект, если нужно удалить, то выбрать <Y>.	
	

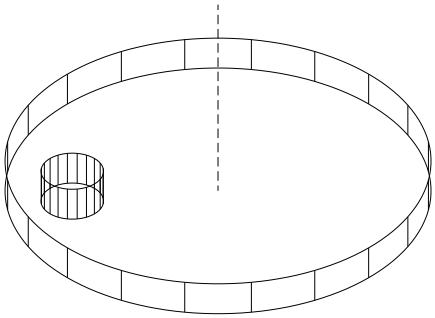
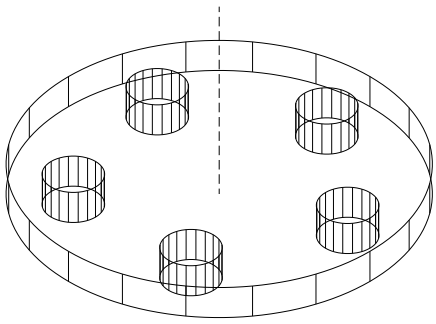
12.3. РАЗМНОЖЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫМ МАССИВОМ

Команда ***3DAarray*** (3М Массив) создает в пространстве копии объектов в виде прямоугольного или полярного массива. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) **→** ***3D Operation*** (3М операции) **→** ***3DAarray*** (3М Массив) или вводом в командную строку слова ***3DAarray*** с клавиатуры.

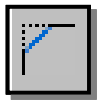
Выполнить упражнения № 117, 118.

Создать прямоугольный массив	***№ 117***
3DAarray Падающее меню ***Modify → 3D Operation → 3DAarray*** Select objects: указать объект для массива – цилиндрическое отверстие Select objects: Enter Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: прямоугольный массив Enter the number of rows (---) <1>: 2 ввести число рядов (вдоль оси Y) Enter the number of columns (|||) <1>: 2 ввести число столбцов (вдоль оси X) Enter the number of levels (...) <1>: 2 ввести число уровней (вдоль оси Z) Specify the distance between rows (---): 30 расстояние между рядами Specify the distance between columns (|||): 90 расстояние между столбцами Specify the distance between levels (...): 20 расстояние между уровнями	
	

Команда ***3DAarray*** (3М Массив) отличается от аналогичной команды, применяемой в двухмерном моделировании, тем, что при создании прямоугольного массива объектов, кроме количества столбцов и строк, запрашивается количество уровней (задается вдоль оси ***Z*** от плоскости ***XY***), а при создании кругового (полярного) массива вместо центра вращения используется ось вращения, начальная и конечная точки которой задаются в ответ на запросы команды.

Создать полярный массив	***№ 118***
3DAarray Падающее меню ***Modify → 3D Operation → 3DAarray*** Select objects: указать объект для массива – цилиндрическое отверстие Select objects: Enter Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>:P полярный массив Enter the number of items in the array: 5 число элементов массива Specify the angle to fill (+=ccw, -=cw) <360>: задать угол для построения Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>: поворачивать элементы массива вокруг оси Specify center point of array: указать первую точку, лежащую на оси массива Specify second point on axis of rotation: указать вторую точку, лежащую на оси массива	
	

12.4. ВЫЧЕРЧИВАНИЕ ФАСОК ТРЕХМЕРНЫХ ТЕЛ



— Команда ***Chamfer*** (Фаска) позволяет создавать фаску (скошенную часть кромки) на пересечениях граней твердого тела, как и в двумерном пространстве. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Chamfer*** (Фаска) или щелчком мыши по пиктограмме ***Chamfer*** (Фаска) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

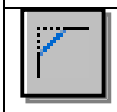
Опции команды:

- ***OK (current)*** (Да (текущая)) – используется для задания в качестве базовой текущей гран тела (при выборе, подсвеченной на графическом экране);
- ***Next*** (Следующая) – используется для выбора в качестве текущей соседней грани тела;
- ***Loop*** (Петля) – используется для задания создания фасок по всем ребрам базовой грани;
- ***Edge*** (Ребро) – используется для возврата в режим указания отдельных ребер.

При создании фасок между гранями твердых тел опции, предлагаемые системой в первом запросе, не используются (они применяются в двумерном моделировании).

Выполнить упражнения № 119, 120. При выполнении упражнения № 119 создать тело, используя команду ***Subtract*** (Вычитание).

Снять фаску с ребра параллелепипеда ***№ 119***



Chamfer Падающее меню ***Modify → Chamfer***

(NOTRIM mode) Current chamfer Dist1 = 10.0000, Dist2 = 10.0000

Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method/mUltiple]: указать точку A

Base surface selection... для выбора базовой поверхности

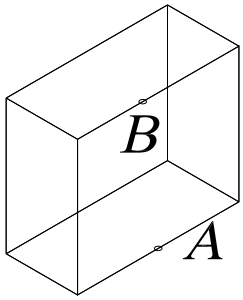
Enter surface selection option [Next/OK (current)] <OK>: Enter

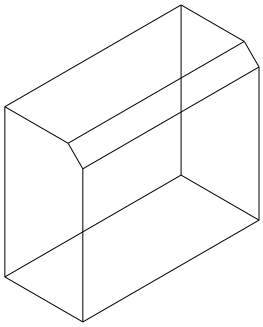
Specify base surface chamfer distance <10.0000>: 5 размер фаски на базовой поверхности

Specify other surface chamfer distance <10.0000>: 5 размер фаски на другой поверхности

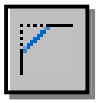
Select an edge or [Loop]: указать верхнюю границу ребра – точку B

Select an edge or [Loop]: Enter





Снять фаску с ребра трехмерного тела ***№ 120***



Chamfer Падающее меню ***Modify → Chamfer***

(TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 40.0000, Dist2 = 40.0000

Select first line or [Polyline/Distance/Angle/Trim/Method/mUltiple]: указать точку A верхней грани объекта

Base surface selection...

Enter surface selection option [Next/OK (current)] <OK>: N режим выбора соседней грани (если на графическом экране при выборе подсвечивается другая грань)

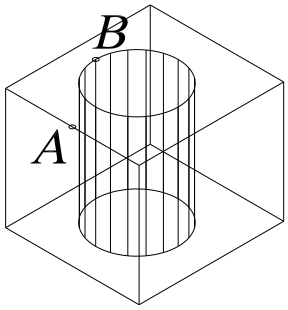
Enter surface selection option [Next/OK (current)] <OK>: Enter

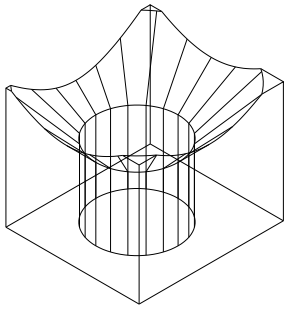
Specify base surface chamfer distance <40.0000>: 20 размер фаски на базовой поверхности

Specify other surface chamfer distance <40.0000>: 20 размер фаски на другой поверхности

Select an edge or [Loop]: указать верхнюю границу ребра – точку B

Select an edge or [Loop]: Enter





12.5. ПОСТРОЕНИЕ СОПРЯЖЕНИЙ ГРАНЕЙ



— Команда ***Fillet*** (Сопряжение) – скругляет или сопрягает объекты дугой заданного радиуса. Вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактирование) → ***Fillet*** (Сопряжение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Fillet*** (Сопряжение) панели инструментов ***Modify*** (Редактирование).

Опции команды ***Fillet*** (Сопряжение):

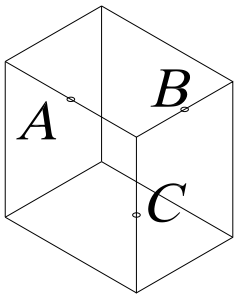
- ***Chain*** (Цепь) – используется для задания скруглений ребер, образующих цепочку;
- ***Edge*** (Ребро) – используется для возврата в режим указания отдельных ребер;
- ***Radius*** (Радиус) – используется для задания нового радиуса скругления.

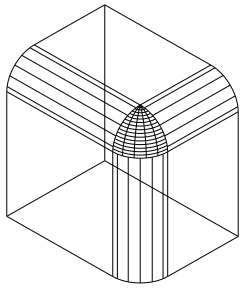
Выполнить упражнения № 121, 122.

Построить сопряжения граней трехмерного тела ***№ 121***

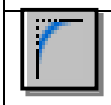


Fillet Падающее меню ***Modify*** → ***Fillet***
Current settings: Mode = TRIM, Radius = 0.0000
Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: указать верхнее скругляемое ребро – точка A
Enter fillet radius: 10 радиус скругления
Select an edge or [Chain/Radius]: указать скругляемое ребро – точка B
Select an edge or [Chain/Radius]: указать скругляемое ребро – точка C
Select an edge or [Chain/Radius]: Enter
3 edge(s) selected for fillet.

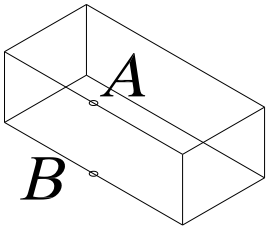


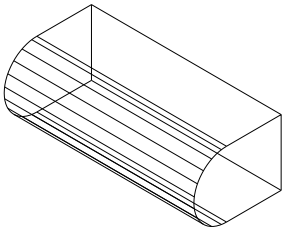


Построить сопряжение грани трехмерного тела ***№ 122***



Fillet Падающее меню ***Modify*** → ***Fillet***
Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000
Select first object or [Polyline/Radius/Trim/mUltiple]: указать верхнее ребро (точка A)
Enter fillet radius <10.0000>: 10 радиус скругления
Select an edge or [Chain/Radius]: указать верхнее ребро (точка B)
Select an edge or [Chain/Radius]: Enter





При создании скруглений ребер твердых тел опции, предлагаемые системой в первом запросе, не используются (они применяются в двумерном моделировании).

12.6. ПОСТРОЕНИЕ СЕЧЕНИЙ



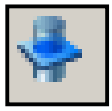
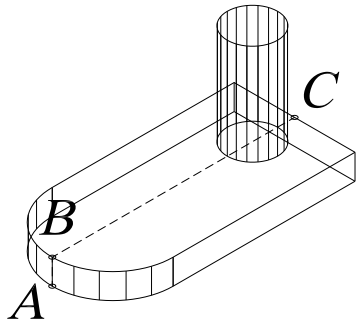
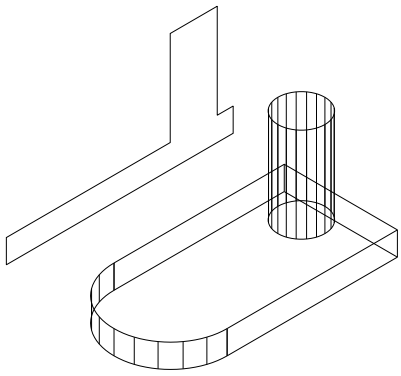
– Команда ***Section*** (Сечение) – позволяет построить сечения (в виде замкнутых областей) твердотельных объектов. Вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Section*** (Сечение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Section*** (Сечение) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды:

- ***Object*** (Объект) – используется для задания секущей плоскости, совпавшей с плоскостью объекта. Такими объектами могут быть отрезок, окружность, дуга или сегмент двумерной полилинии;
- ***Zaxis*** (Z ось) – используется для задания секущей плоскости, заданной двумя точками, первая из которых лежит на плоскости, а вторая определяет вектор нормали к этой плоскости;
- ***View*** (Вид) – используется для задания секущей плоскости, выровненной с плоскостью видового экрана, то есть параллельной плоскости экрана;
- ***XY*** (XY), ***YZ*** (YZ), ***ZX*** (ZX) – используется для задания секущей плоскости, параллельной плоскости соответственно ***XY***, ***YZ*** или ***ZX*** текущей системы координат и проходящей через заданную точку;
- ***3point*** (3 точки) – сечение относительно плоскости, проходящей через три заданные точки.

В результате выполнения команды создаются объекты типа ***Region***. При применении к этим объектам команды ***Explode*** они разбиваются на отдельные линии, дуги или окружности.

Выполнить упражнение № 123.

Построить сечение трехмерного тела	***№ 123***
 ***Section*** Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Section*** Select objects: указать объект Select objects: Enter Specify first point on Section plane by [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>: указать точку A Specify second point on plane: указать точку B Specify third point on plane: указать точку C Переместить полученное сечение.	
	

12.7. ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗОВ



– Команда ***Slice*** (Разрез) – позволяет разрезать набор тел плоскостью и при необходимости удалить отсеченные части объектов. Вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Slice*** (Разрез) или щелчком мыши по пиктограмме

Slice (Разрез) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды:

- ***Object*** (Объект) – используется для задания секущей плоскости, совпавшей с плоскостью объекта. Такими объектами могут быть отрезок, окружность, дуга или сегмент двумерной полилинии;
- ***Zaxis*** (Z ось) – используется для задания секущей плоскости, заданной двумя точками, первая из которых лежит на плоскости, а вторая определяет вектор нормали к этой плоскости;
- ***View*** (Вид) – используется для задания секущей плоскости, выровненной с плоскостью видового экрана, то есть параллельной плоскости экрана;
- ***XY*** (XY), ***YZ*** (YZ), ***ZX*** (ZX) – используется для задания секущей плоскости, параллельной плоскости соответственно ***XY***, ***YZ*** или ***ZX*** текущей системы координат и проходящей через заданную точку;
- ***3point*** (3 точки) – разрез относительно плоскости, проходящей через три заданные точки;
- ***keep Both sides*** (сохранить Обе стороны) – оставляет обе части разрезанного тела.

Выполнить упражнение № 124.

Построить разрез трехмерного тела ***№ 124***



Slice Падающее меню ***Draw*** → ***Solids*** → ***Slice***

Select objects: указать объект

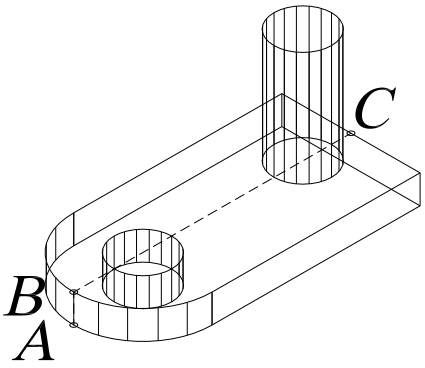
Select objects: Enter

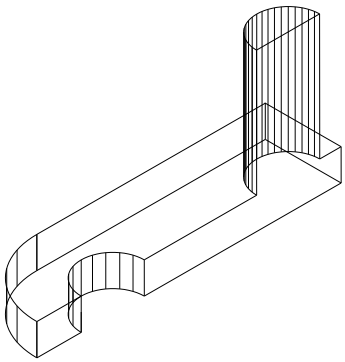
Specify first point on slicing plane by [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>: указать точку A

Specify second point on plane: указать точку B

Specify third point on plane: указать точку C

Specify a point on desired side of the plane or [keep Both sides]: указать курсором точку той части тела, которую надо оставить.





13. РЕДАКТИРОВАНИЕ ГРАНЕЙ, РЕБЕР, ТЕЛ

Команда ***Solidedit*** (Редактирование твердотельных объектов) используется для выполнения следующих возможных действий: выдавливание, перенос, поворот, смещение, изменение формы тела путем наклона, удаление, копирование, изменение цвета. Команды вызываются из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Editing*** (Редактирование тел) или щелчком мыши по пиктограммам плавающей панели инструментов ***Solids Editing*** (Редактирование тел).

При вызове команды на первый запрос необходимо ввести опцию редактирования тел:

- ***Face*** (Грань) – используется для перехода в режим редактирования граней твердого тела;
- ***Edge*** (Ребро) – используется для перехода в режим редактирования ребер твердого тела;
- ***Body*** (Тело) – используется для редактирования общих свойств тела;
- ***Undo*** (Отменить) – используется для отмены последнего результата редактирования;
- ***eXit*** (Выход) – используется для завершения работы с командой.

13.1. РЕЖИМ РЕДАКТИРОВАНИЯ ГРАНЕЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

На первый запрос команды ***Solids Editing*** (Редактирование тел) в режиме редактирования ***Face*** (Грань), которая вызываются из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Editing*** (Редактирование тел) или щелчком мыши по пиктограммам плавающей панели инструментов ***Solids Editing*** (Редактирование тел), необходимо выбрать одну из следующих опций данной команды:

- ***Extrude*** (Выдавить) – используется для изменения формы тела путем «выдавливания» одной из граней;
- ***Move*** (Переместить) – используется для изменения формы тела путем переноса его граней;
- ***Rotate*** (Поворот) – используется для изменения формы тела путем поворота его граней;
- ***Offset*** (Сместить) – используется для изменения формы тела путем эквидистантного смещения его граней на определенное расстояние;
- ***Taper*** (Сузить) – используется для изменения формы тела путем наклона его граней;
- ***Delete*** (Удалить) – используется для изменения формы тела путем удаления его отдельных граней;
- ***Copy*** (Копировать) – используется для создания поверхности, повторяющей конфигурацию граней тела;
- ***coLor*** (или ***L***) (Цвет) – используется для изменения цвета граней тела;
- ***Undo*** (Отменить) – используется для отмены последней операции редактирования граней;
- ***eXit*** (или ***X***) (Выход) – используется для возврата к первому запросу системы при вызове команды ***Solidedit*** (Редактирование твердотельных объектов).

Выполнить упражнения № 125- 132.

Выдавить грань трехмерного тела ***№ 125***

Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing → Extrude faces***

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1

Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face режим граней

Enter a face editing option

[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _extrude

Select faces or [Undo/Remove]: указать точку A (R используется для исключения грани из набора выбранных граней)

Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter

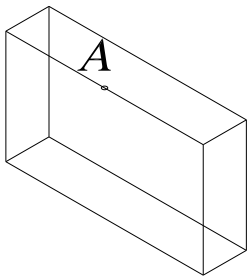
Specify height of extrusion or [Path]: 20 высота выдавливания

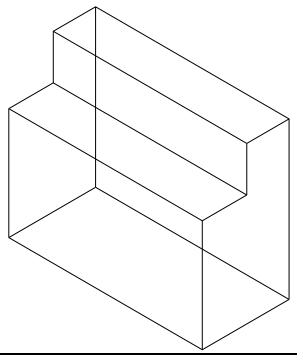
Specify angle of taper for extrusion <0>: угол

Enter a face editing option

[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Enter

Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: Esc





Выдавить грань трехмерного тела ***№ 126***

Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing → Extrude faces***

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1

Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face режим граней

Enter a face editing option

[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _extrude

Select faces or [Undo/Remove]: указать точку A на передней грани параллелепипеда

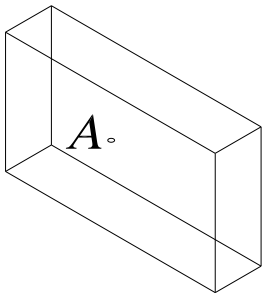
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter

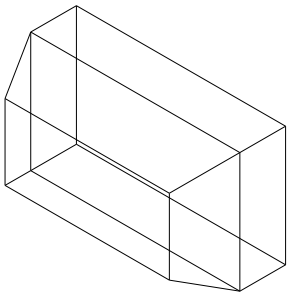
Specify height of extrusion or [Path]: 20 высота выдавливания

Specify angle of taper for extrusion <0>: 25 угол

Enter a face editing option

[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc

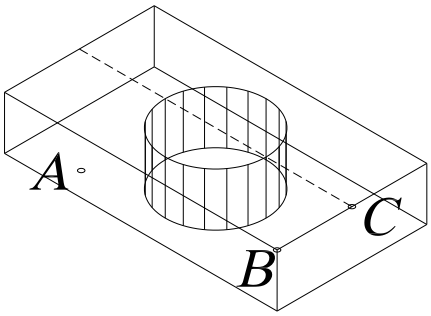


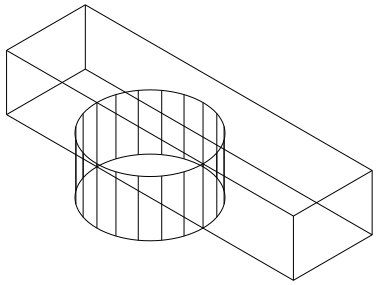


Переместить грань трехмерного тела	*№ 127*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ Move faces***
Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face грань
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _move
Select faces or [Undo/Remove]: указать боковую грань (точка A)
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Specify a base point or displacement: указать точку B
Specify a second point of displacement: указать точку C
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc

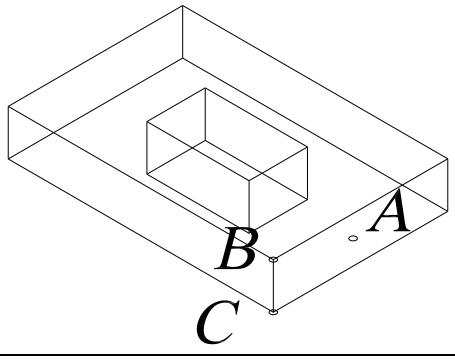


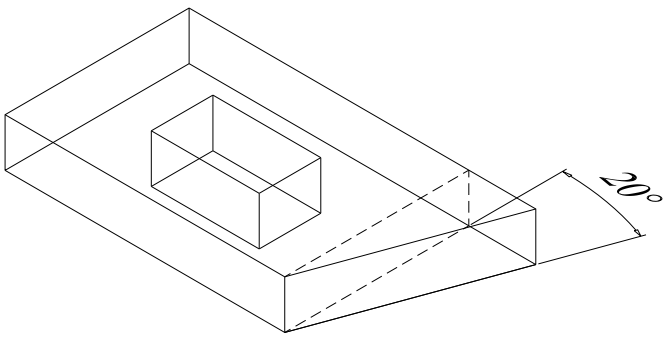


Повернуть грань трехмерного тела	*№ 128*

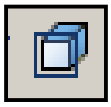


Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ Rotate faces***
Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _rotate
Select faces or [Undo/Remove]: указать боковую грань (точка A)
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Specify an axis point or [Axis by object/View/Xaxis/Yaxis/Zaxis] <2points>: точка B
Specify the second point on the rotation axis: точка C на оси поворота
Specify a rotation angle or [Reference]: 20 угол поворота
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc



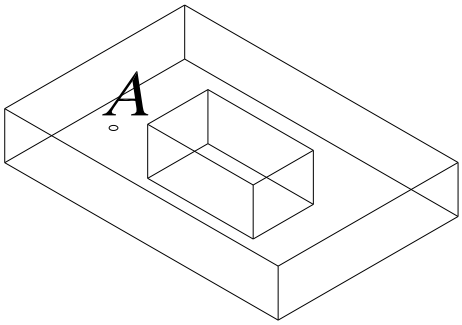


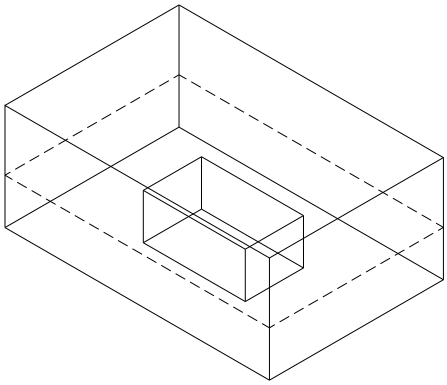
Сместить грань трехмерного тела *№ 129*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ Offset faces***

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _offset
Select faces or [Undo/Remove]: указать верхнюю грань (точка A)
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Specify the offset distance: 20 величина смещения
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc



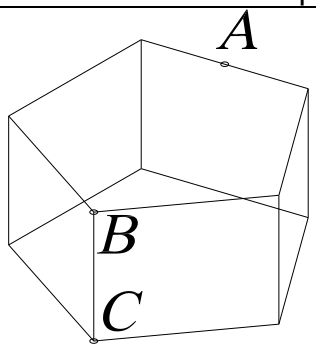


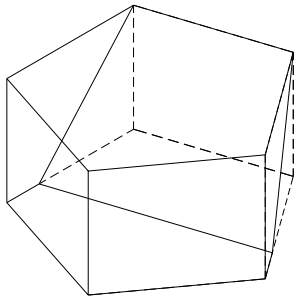
Наклонить грань трехмерного тела *№ 130*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ Taper faces***

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _taper
Select faces or [Undo/Remove]: указать точку A
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Specify the base point: указать базовую точку B
Specify another point along the axis of tapering: указать точку C на оси
Specify the taper angle: 40 угол наклона грани
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc

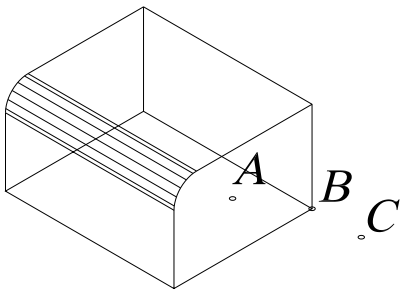


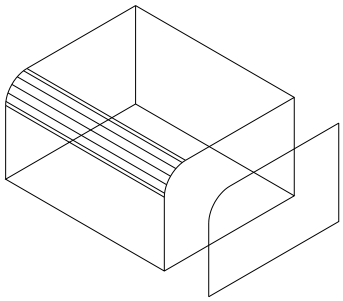


Скопировать грань трехмерного тела	*№ 131*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ Copy faces***
Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _copy
Select faces or [Undo/Remove]: указать боковую грань (точка A)
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Specify a base point or displacement: указать базовую точку B
Specify a second point of displacement: указать точку C
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc

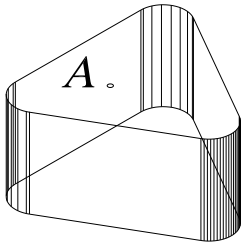


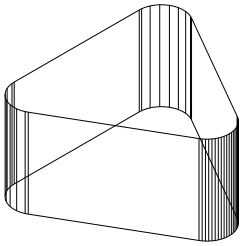


Изменить цвет грани трехмерного тела	*№ 132*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing→ CoLor faces***
Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _face
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: _color
Select faces or [Undo/Remove]: указать верхнюю грань (точка A)
Select faces or [Undo/Remove/ALL]: Enter
Enter a face editing option
[Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/Copy/coLor/Undo/eXit] <eXit>: Esc





13.2. РЕЖИМ РЕДАКТИРОВАНИЯ РЕБЕР ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

На первый запрос команды ***Solids Editing*** (Редактирование тел) в режиме редактирования ***Edge*** (Ребро), которая вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Editing*** (Редактирование тел) или щелчком мыши по пиктограммам плавающей панели инструментов ***Solids Editing*** (Редактирование тел), необходимо выбрать одну из следующих опций данной команды:



- ***Copy*** (Копировать) – используется для создания объектов, повторяющих конфигурацию ребер тела (дальнейшие действия аналогичны выполнению команды ***Copy*** в двумерном пространстве);



- ***coLor*** (или ***L***) (Цвет) – используется для изменения цвета ребер тела;
- ***Undo*** (Отменить) – используется для отмены последней операции редактирования ребер;
- ***eXit*** (или ***X***) (Выход) – используется для возврата к первому запросу системы при вызове команды ***Solids Editing*** (Редактирование тел).

13.3. РЕЖИМ РЕДАКТИРОВАНИЯ ОБЩИХ СВОЙСТВ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

На первый запрос команды ***Solids Editing*** (Редактирование тел) в режиме редактирования ***Body*** (Тело), которая вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Editing*** (Редактирование тел) или щелчком мыши по пиктограммам плавающей панели инструментов ***Solids Editing*** (Редактирование тел), необходимо выбрать одну из следующих опций данной команды:

- ***Imprint*** (Вписать 0 – используется для построения линий пересечения тела с другими объектами (Yes (Да) – используется, если после построения линии пересечения объект, которому эта линия соответствует, должен быть удален; No (Нет) – используется, если удалять объект не надо);
- ***seParate solids*** (или ***P***) (Разделить) – используется для разделения на самостоятельные тела объектов, которые воспринимаются системой как единые тела, но физически ими на являются (например, тела, полученные в результате действия команды ***Subtract*** (Вычитание) или ***Union*** (Объединение);
- ***Shell*** (Оболочка) – используется для формирования твердотельной оболочки на основе указанного тела, то есть создает эквидистантные поверхности;
- ***cLean*** (или ***L***) (Очистить) – используется для удаления с поверхности тела, указанного пользователем, всех линий пересечения этого тела с другими объектами;
- ***Check*** (Проверить) – используется для перевода твердотельного объекта, указанного пользователем, в формат ***ACIS***, имеющий более широкие возможности по вычислению формы тел сложной конфигурации;
- ***Undo*** (Отменить) – используется для отмены последней операции редактирования свойств тела;
- ***eXit*** (или ***X***) (Выход) – используется для возврата к первому запросу системы при вызове команды ***Solids Editing*** (Редактирование тел).

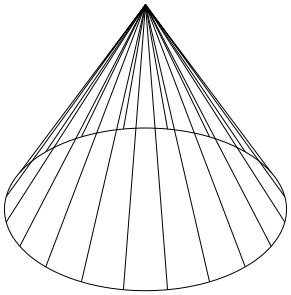
Выполнить упражнение № 133.

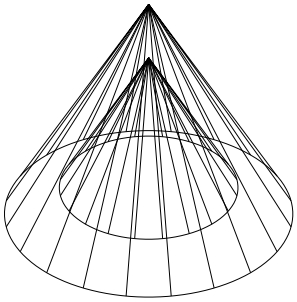
Создать оболочку трехмерного тела	*№ 133*



Solidedit П. м. ***Modify → Solids Editing → Shall***

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1
Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit] <eXit>: _body
Enter a body editing option
[Imprint/seParate solids/Shell/cLean/Check/Undo/eXit] <eXit>: _shell
Select a 3D solid: указать тело (указать на теле произвольную точку)
Remove faces or [Undo/Add/ALL]: Enter
Enter the shell offset distance: 10 толщина оболочки
Enter a body editing option
[Imprint/seParate solids/Shell/cLean/Check/Undo/eXit] <eXit>: Esc





14. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрим построение на примере создания трехмерной модели детали, чертеж которой представлен на рис. 166. Ниже описана лишь одна из возможных последовательностей моделирования данного изделия.

1. Создать новый рисунок с помощью команды ***NEW*** (НОВЫЙ), вызываемой из падающего меню ***File*** (Файл) → ***New***…(Новый…), или щелчком по пиктограмме ***New*** (Новый) стандартной панели инструментов.

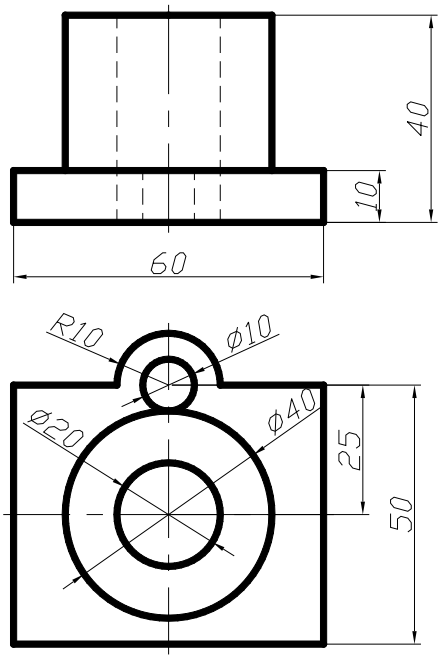


Рис. 166.

2. Для вызова мастера подготовки в диалоговом окне ***Create New Drawing*** (Создание нового рисунка) выбрать пиктограмму ***Use a Wizard*** (Вызов мастера). Далее в списке ***Select a Wizard:*** (Выберите Мастера:) выбрать ***Quick Setup*** (Быстрая подготовка).

3. В диалоговом окне ***Quick Setup*** (Быстрая подготовка) при определении области черчения ***Area*** (Площадь) установить размеры чертежа 210x297 (формат А4).

4. Щелчком мыши на кнопке ***GRID*** (Сетка) в строке состояния (или клавишей ***F7***) включить отображение сетки на графическом экране.

5. Отобразить всю область чертежа на экране командой ***Zoom*** (Показать), вызываемой из падающего меню ***View*** (Вид) → ***Zoom*** (Показать) → ***All*** (Все), или щелчком по пиктограмме ***Zoom All*** (Показать все) стандартной панели инструментов.

6. Сохранить рисунок с помощью команды

QSAVE (БСОХРАНИТЬ), вызываемой из падающего меню ***File*** (Файл)→***Save*** (Сохранить) или щелчком мыши по пиктограмме ***Save*** (Сохранить) стандартной панели инструментов.

7. Установить значение системной переменной ***ISOLINES***, равное 10, что соответствует количеству образующих линий, отображаемых на кривых поверхностях.
8. Создать три видовых экрана с помощью команды ***VPORTS*** (ВЭКРАН), которая вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***Viewports*** (Видовые экраны) → ***New Viewports…***(Новые Видовые экраны…) или щелчком мыши по пиктограмме ***Display Viewports Dialog*** (Диалоговое окно видовых экранов) в стандартной или плавающей панели инструментов ***Viewports*** (Видовые экраны), см. упражнение № 90.
9. Установить направление взгляда в трех видовых экранах, см. упражнение 91. Команда ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) позволяет задать направление взгляда при определении вида и вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D View*** (3М Виды) → ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) или вводом в командную строку слова ***DDVPOINT*** с клавиатуры.
10. С помощью команд ***Pline*** (Полилиния) и ***Circle*** (Окружность) создать горизонтальную проекцию детали.
11. Используя команду ***Extrude*** (Выдавить), которая вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела)→ ***Extrude*** (Выдавить) или щелчком мыши по пиктограмме ***Extrude*** (Выдавить) панели инструментов ***Solids*** (Тела), «выдавить» полученную горизонтальную проекцию на соответствующие величины.
12. Выполнить логические преобразования. Объединить параллелепипед и внешний большой цилиндр с помощью команды ***Union*** (Объединение), которая вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) → ***Union*** (Объединение) или щелчком мыши по пиктограмме ***Union*** (Объединение) плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел). Затем из полученного тела вычесть внутренний большой и маленький цилиндры с помощью команды ***Subtract*** (Вычитание). Команда ***Subtract*** (Вычитание) вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редактировать) → ***Solids Edition*** (Правка тел) → ***Subtract*** (Вычитание) или щелчком мыши по пиктограмме ***Subtract*** (Вычитание) плавающей панели инструментов ***Solids Edition*** (Правка тел).
13. Подавить невидимые линии командой ***HIDE*** (СКРЫТЬ), вызываемой из падающего меню ***View*** (Вид)→***Hide*** (Скрыть линии) или щелчком мыши по пиктограмме ***Hide*** (Скрыть линии) плавающей панели инструментов ***Render*** (Тонировать).
14. Перейти из пространства модели в пространство листа щелчком мыши по закладке ***Layout 1*** (Лист 1).
15. В диалоговом окне ***Page Setup*** (Параметры листа)→***Layout*** (Лист), задать параметры листа (210x297) и устройства печати.
16. Удалить имеющийся вид на листе, щелкнув на границе видового экрана и нажав клавишу ***Delete*** (Удалить).
17. Вставить в рисунок рамку формата А4 (при условии, что эта заготовка (блок) уже существует). Вставка осуществляется командой ***INSERT*** (ВСТАВИТЬ), вызываемой из падающего меню ***Insert*** (Вставка)→***Block***… (Блок…) или по пиктограмме ***Insert Block*** (Вставить блок) панели инструментов ***Draw*** (Рисование).

Для получения блока, которым можно воспользоваться при создании любых чертежей в ***AutoCAD***, применяется команда ***WBLOCK*** (ПБЛОК). Она загружает окно ***White Block*** (Запись блока на диск), показанное на рис. 167, в котором следует указать блок или объект, записываемый в отдельный файл. Описание блока сохраняется в отдельном рисунке.

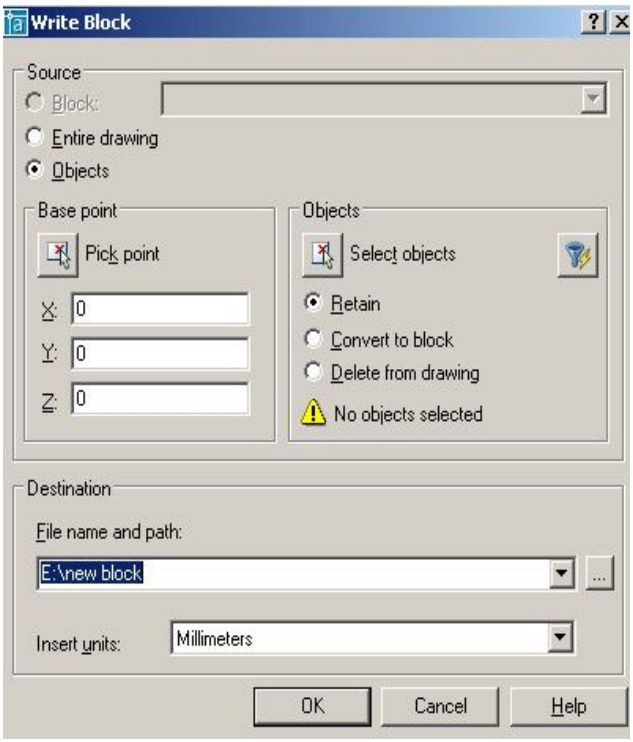


Рис. 167.

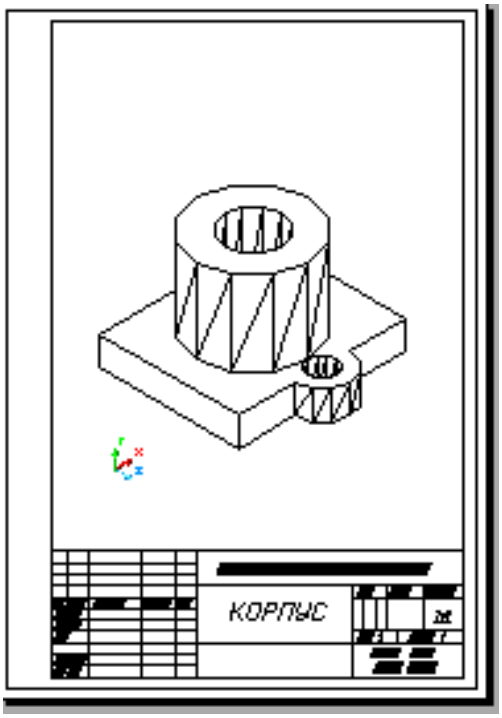


Рис. 168.

18. Создать на листе видовой экран с помощью команды ***VPORTS*** (ВЭКРАН), которая вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***Viewports*** (Видовые экраны) → ***Single*** (1 Вид), а затем указать мышью на графическом экране первый угол видового экрана и второй угол видового экрана.

19. Установить изометрический вид, для чего нужно «войти» в пространство модели (щелкнув два раза клавишей внутри полученной рамки). Затем отредактировать вид, используя команду ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения), которая вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) → ***3D View*** (3М Виды) → ***DDVPOINT*** (Диалоговое окно точки зрения) или вводом в командную строку слова ***DDVPOINT*** с клавиатуры.

20. Удалить рамку видового экрана, для этого необходимо выделить рамку, щелкнув клавишей на ней, и «заморозить» слой ***VPORTS*** (этот слой автоматически создается при работе с видовыми окнами).

21. В пространстве листа заполнить основную надпись. Для выхода в пространство листа нужно щелкнуть два раза клавишей за пределами видового окна. Чертеж, полученный в результате работы, приведен на рис. 168.

15. ПЕРЕКРЫВАЮЩИЕСЯ ВИДОВЫЕ ЭКРАНЫ. СОЗДАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ



Команда ***SOLVIEW*** (Настройка вида) автоматизирует процесс создания *перекрывающихся видовых экранов* и ортогональных проекций – проекций на взаимно перпендикулярные плоскости. Команда вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) → ***Setup*** (Настройка) → ***View*** (Вид) или щелчком мыши по пиктограмме ***Setup view*** (Настройка вида) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

Опции команды:

- ***UCS*** (ПСК – пользовательская система координат) – создает вид, параллельный плоскости ***XY*** пользовательской системы координат, которую требуется указать в последующем запросе.

- ***Ortho*** (Ортогональный) – создает вид, перпендикулярный существующему виду, то есть создает ортогональные проекции;
- ***Auxiliary*** (Вспомогательный) – создает дополнительный наклонный вид относительно существующего вида, то есть получаемый на плоскости, непараллельный основным плоскостям проекций;
- ***Section*** (Сечение) – служит для формирования разрезов.

Для каждого создаваемого командой ***SOLVIEW*** (Настройка вида) видового экрана автоматически создается несколько новых слоев. Эти слои имеют имя, совпадающее с именем видового экрана, к которому добавляются расширения, состоящие из трех букв:

- ***DIM*** – слой для размеров;
- ***HAT*** – слой штриховки (только при построении разрезов);
- ***HID*** – слой невидимых линий;
- ***VIS*** – слой видимых линий.

Эти слои можно использовать только для работы с видами, созданными системой ***AutoCAD***. Помимо указанных слоев команда ***SOLVIEW*** (Настройка вида) создает слой VPORTS, на котором размещается общая информация о всех видовых экранах, созданных командой, например, рамки, ограничивающие видовые экраны (если этот слой заморозить, то рамки станут невидимыми).

Замечания:

- Задачи моделирования, такие, как создание и редактирование геометрических объектов, обычно выполняются на вкладке графического поля экрана ***Model*** (Модель). Задачи оформления чертежа, такие, как создание и размещение проекций, проведение осей симметрии, нанесение условных обозначений, выполняются на вкладке графического поля экрана ***Layout*** (Лист). Размеры обычно проставляются на вкладке ***Model*** (Модель).
- На вкладке ***Layout*** (Лист) можно работать как в пространстве модели, так и в пространстве листа. Для того чтобы сделать текущим пространство модели, необходимо поместить курсор мыши в нужный видовой экран и дважды щелкнуть левой клавишей. Для перехода в пространство листа надо переместить указатель за границы видовых экранов и дважды щелкнуть левой клавишей мыши. Можно также переключаться из пространства модели в пространство листа при помощи кнопки в строке состояния.

После созданных плавающих видовых экранов выполняется команда ***SOLDRAW*** (Настройка рисования), которая формирует плоские изображения видов и разрезов в плавающих видовых экранах. При этом строятся видимые и невидимые линии, создающие очерки и ребра тела, а в разрезах выполняется штриховка по установленному шаблону. Команда вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисование) → ***Solids*** (Тела) → ***Setup*** (Подготовка) → ***Drawing*** (Построение) или через командную строку. В ответ на последовательность запросов ***Select object:*** следует указать рамки всех видовых экранов.



ПРИМЕР. Построить твердотельную модель и создать на основании построенной твердотельной модели детали (рис. 166) следующие проекции: фронтальный вид, горизонтальный и профильный разрез.

Создается твердотельная модель (описание построения см. в предыдущем параграфе). Затем используют следующий алгоритм.

1. Установить пользовательскую систему координат (ПСК) параллельно главному виду детали. Для этого необходимо воспользоваться командой ***UCS*** (ПСК), вызвав её из падающего меню ***Tools*** (Сервис) → ***New UCS*** (Новая ПСК) → ***3 Point*** (3 Точки) или из стандартной панели инструментов ***UCS*** (ПСК).

2. Перейти из пространства модели в пространство листа щелчком мыши по закладке ***Layout 1*** (Лист 1).
3. В диалоговом окне ***Page Setup*** (Параметры листа) → ***Layout*** (Лист), задать параметры листа (210x297) и устройства печати.
4. Удалить имеющийся вид на листе, щелкнув на границе видового экрана и нажав клавишу ***Delete*** (Удалить).
5. Вставить в рисунок рамку формата А4 (при условии, что эта заготовка (блок) уже существует). Вставка осуществляется командой ***INSERT*** (ВСТАВИТЬ), вызываемой из падающего меню ***Insert*** (Вставка) → ***Block***… (Блок…) или по пиктограмме ***Insert Block*** (Вставить блок) панели инструментов ***Draw*** (Рисование).
6. Создать на чертеже видовые экраны со следующими видами: видом спереди, видом сверху и профильным разрезом, используя команду ***SOLVIEW*** (Настройка вида), которая вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисовать) → ***Solids*** (Тела) → ***Setup*** (Настройка) → ***View*** (Вид) или щелчком мыши по пиктограмме ***Setup view*** (Настройка вида) панели инструментов ***Solids*** (Тела).

1) *Получение главного вида – фронтальной проекции детали:*

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: U
Enter an option [Named/World/?/Current] <Current>: Enter
Enter view scale <1>: указать масштаб
Specify view center: указать центр вида, подбирая последовательными щелчками наиболее удачное его расположение
Specify view center <specify viewport>: Enter
Specify first corner of viewport: указать первый угол видового экрана
Specify opposite corner of viewport: указать второй угол видового экрана
Enter view name: Front – ввести имя формируемого вида

2) *Получение вида сверху – горизонтальной проекции детали:*

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: O ортогональный режим
Specify side of viewport to project: указать верхнюю границу видового экрана главного вида
Specify view center: указать центр вида, подбирая последовательными щелчками наиболее удачное его расположение
Specify view center <specify viewport>: Enter
Specify first corner of viewport: указать первый угол видового экрана
Specify opposite corner of viewport: указать второй угол видового экрана
Enter view name: Top – ввести имя формируемого вида

3) *Получение профильного разреза:*

Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: S – сечение
Specify first point of cutting plane: _cen – указать на горизонтальной проекции первую точку режущей плоскости при помощи объектной привязки – центр окружности
Specify second point of cutting plane: @0,0,60 – указать на главном виде вторую точку режущей плоскости при помощи относительных координат
Specify side to view from: указать на виде сверху сторону, которая остается на изображении.
Enter view scale <1>: Enter
Specify view center: указать центр вида
Specify view center <specify viewport>: Enter
Specify first corner of viewport: указать первый угол видового экрана
Specify opposite corner of viewport: указать второй угол видового экрана
Enter view name: Section – ввести имя формируемого вида
Enter an option [Ucs/Ortho/Auxiliary/Section]: Enter – завершить работу.

В результате получается изображение, представленное на рис. 169.

7. Выполняют команду ***SOLDRAW*** (Настройка рисования) для формирования в каждом видовом экране плоских изображений. При этом на разрез наносится штриховка (по образцу ***Angle***); все невидимые линии в каждом видовом экране помещаются на слои с суффиксом ***HID*** (<имя>-***HID***), а видимые – на слои с суффиксом ***VIS***. Вызывается из падающего меню ***Draw*** (Рисование) → ***Solids*** (Тела) → ***Setup*** (Подготовка) → ***Drawing*** (Построение) или через командную строку.

1. Меняют шаблон штриховки. Для этого переходят в пространство модели, выделяют видовой экран «разрез», затем щелчком левой клавиши мыши выделяют штриховку и вызывают контекстное меню щелчком правой клавиши мыши. В контекстном меню выбирают команду ***HATCHEDIT*** (Редактирование штриховки) и в раскрывшемся диалоговом окне выбирают шаблон штриховки ***ANSI31***.
2. Удаляют невидимые линии на всех проекциях, кроме вида спереди. Для этого «замораживают» соответствующие слои.
3. В пространстве листа наносят оси симметрии.
4. Удаляют рамки видовых экранов, для чего «замораживают» слой ***VPORTS***.
5. На слоях ***VIS*** устанавливают толщину 0,3 мм.
6. В пространстве модели «размораживают и устанавливают текущим слой видового экрана, содержащего вид спереди, с суффиксом DIM, и проставляют необходимые размеры.
7. В пространстве листа заполняют основную надпись. Чертеж, полученный в результате работы, приведен на рис. 170.

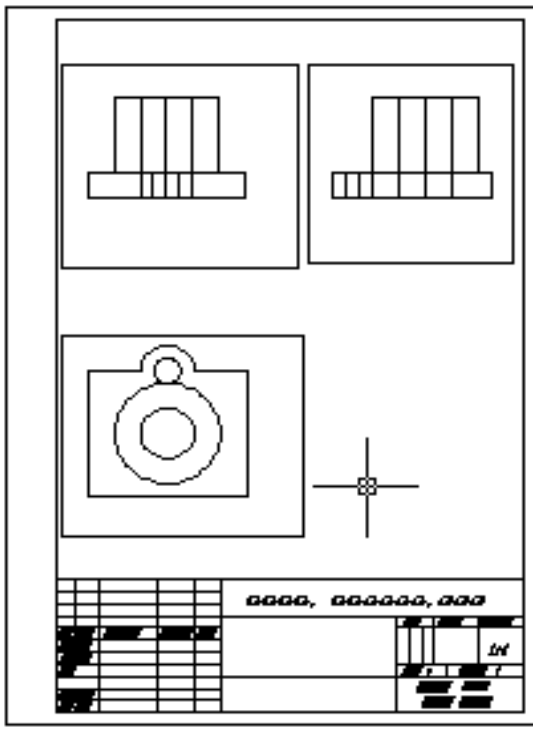


Рис. 169.

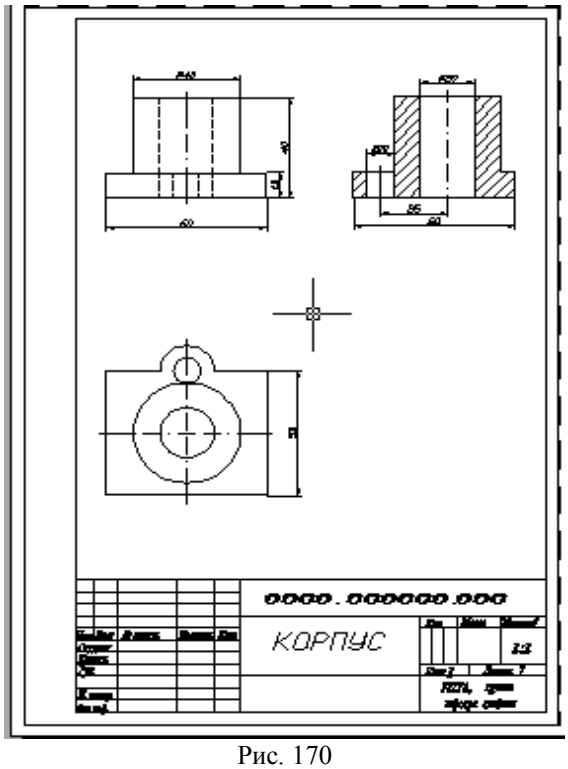


Рис. 170

16. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

В процессе создания трёхмерной модели какого-либо изделия пользователь имеет дело с *каркасным* представлением модели. Все грани моделируемого объекта прозрачны, а потому на экране отображаются как видимые, так и невидимые ребра и изолинии криволинейных поверхностей. Программа ***AutoCAD*** предоставляет в распоряжение пользователя разнообразные средства, позволяющие получить изображение трёхмерного объекта, близкое к ре-

альному. По степени сложности выполняемого преобразования и соответственно по качеству результата получаемые с помощью этих средств представления объекта на экране можно разделить на три группы:

- изображения со *скрытием невидимых линий и поверхностей* (***HIDE***);
- раскрашенные изображения *с нанесением теней* (***SHADE***);
- тонированные изображения с учетом характеристик материала, из которого «создан» объект, характеристик источников освещения и их расположения (***RENDER***).

16.1. УДАЛЕНИЕ НЕВИДИМЫХ ЛИНИЙ



Сложные трёхмерные объекты часто оказываются перегруженными множеством линий, что затрудняет чтение и просмотр результатов выполнения какой-либо команды. Команда ***HIDE*** (СКРЫТЬ) позволяет подавить скрытые (невидимые с данной точки зрения) линии. Команда ***HIDE*** (СКРЫТЬ) вызывается из падающего меню ***View*** (Вид) ⇒ ***Hide*** (Скрыть) или щелчком мыши по пиктограмме ***Hide*** (Скрыть) плавающей панели инструментов ***RENDER*** (ТОНИРОВАТЬ).

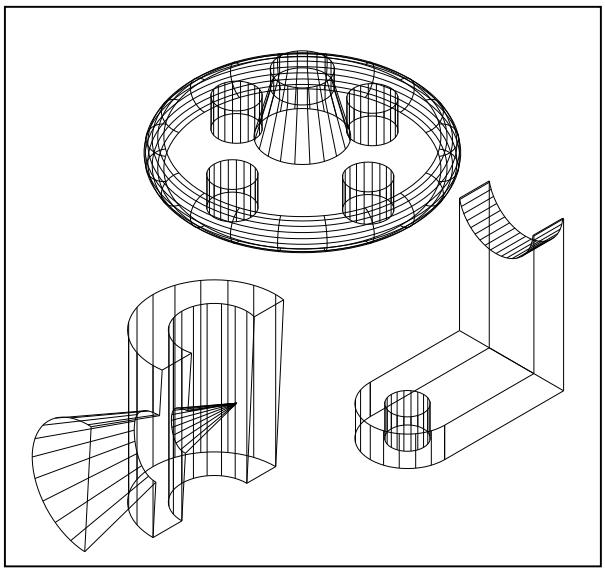
Выполнить упражнение № 134.

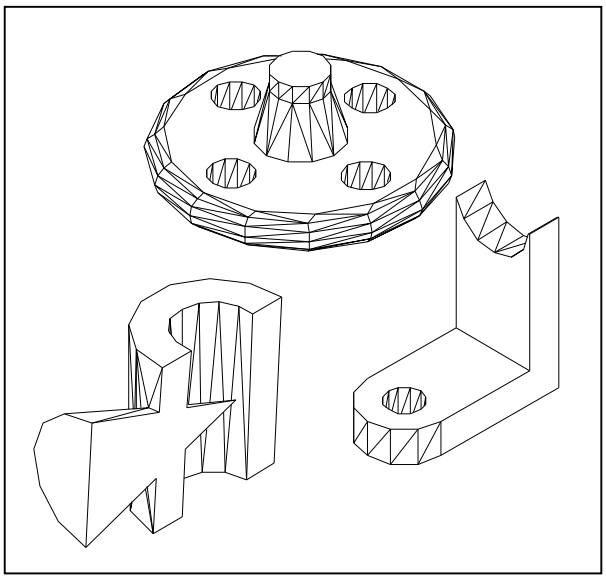
Удалить невидимые линии ***№ 134***



HIDE

Падающее меню ***VIEW → HIDE***





16.2. РАСКРАШИВАНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Раскрашивание – это упрощённая версия тонирования в ***AutoCAD***. Раскрашивание используется, когда необходимо быстро получить наглядное представление модели, особенно включающей пространственные объекты с поверхностями. При этом предусматривается наличие одного источника света, который автоматически размещается позади камеры. Для выполнения раскрашивания выберите в меню ***View*** (Вид) ⇒ ***Shade*** (Раскрашивание) или введите в командную строку команду ***SHADEMODE***. Ниже перечислены опции этой команды.

- ***2D wireframe*** (2М каркас). Отображение объектов в привычной каркасной модели без всякого раскрашивания;
- ***3D wireframe*** (3М каркас). Отображение объектов в виде каркасной модели, но вместе с трёхмерной пиктограммой ПСК;
- ***Hidden*** (Срыть). Эквивалентна выполнению команды **HIDE**;
- ***Flat Shaded*** (Без тени).Формирование «плоской» без полутонов заливки областей, ограниченных контурами граней. При этом не учитывается ориентация граней, а соответственно и изменение вследствие этого их освещённости;
- ***Gouraud shaded*** (Гуро). Формирование сглаженного полутонового перехода между поразному ориентированными гранями. В результате создаётся реалистичное представление объекта, подчёркивающее его криволинейную пространственную форму;
- ***Flat Shaded, Edges On*** (Без тени с кромками). Комбинация плоской заливки с каркасным представлением ребер. Именно этот вариант рекомендуется устанавливать при выполнении редактирования раскрашенных объектов;
- ***Gouraud shaded, Edges On*** (Гуро с кромками). Комбинация раскрашивания по методу Гуро с выводом каркасного представления рёбер. Этот вариант также рекомендуется устанавливать при выполнении редактирования раскрашенных объектов.

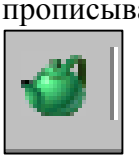
16.3. ТОНИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТРЁХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Панель инструментов RENDER (Тонировать) (рис.171).



Рис. 171.

Плавность тонированных тел с криволинейными поверхностями регулирует системная переменная ***FACETRES***. Она связана с точностью аппроксимации, заданной в команде ***VIEWRES*** (НАСТРВИД). Если значение системной переменной ***FACETRES*** равно 1, степень аппроксимации криволинейных поверхностей тел равна степени аппроксимации окружностей, дуг и эллипсов. Если этой переменной присвоить значение 2, точность аппроксимации для тел будет вдвое выше, чем для окружностей, дуг и эллипсов и т. д. Значение ***FACETRES*** по умолчанию равно 0.5. Диапазон допустимых значений – от 0.01 до 10. Для изменения значения ***FACETRES*** в командной строке прописывается слово ***FACETRES***↵ / прописывается числовое значение от 0.01 до 10.



Диалоговое окно ***RENDER*** (Тонировать) загружается командой ***RENDER*** (Тонировать), которая вызывается из падающего меню Падающее меню ***View*** (Вид)⇒ ***Render…*** (Тонировать…) ⇒ ***Render*** (Тонировать) или щелчком мыши по пиктограмме ***Render*** (Тонировать) одноимённой панели инструментов.

Вывод тонированного изображения определяется в области ***Destination*** (Место назначения), для чего нужно выбрать одно из трёх значений раскрывающегося списка:

- ***Viewport*** (Видовой экран) – вывод изображения в видовой экран;
- ***Render Window*** (Окно) – отдельное окно ***Render***;
- ***File*** (Файл) – в файл.

Программа ***AutoCAD*** предоставляет в распоряжение пользователя три вида тонирования:

- ***Render*** (Упрощенное) - тонирование без добавления источников света, присвоения материалов и определения сцен. Данный режим предоставляет наименьшие возможности на-

стройки и моделирования различных эффектов визуализации, но позволяет быстрее всего получить результаты;

- ***Photo Real*** (Фотореалистичное) – более реалистичное тонирование с возможностью отображения растровых и прозрачных материалов, а также моделировать различные эффекты при отображении теней;
- ***Photo Raytrace*** (Трассировка луча) – ещё более реалистичное тонирование, основанное на алгоритме обратной трассировки световых лучей для регенерации отражения, преломления и точного определения освещённости.

Загрузка системы тонирования происходит автоматически при первом запуске команды тонирования: ***RENDER*** (Тонировать), ***SCENE*** (СЦЕНА), ***LIGHT*** (СВЕТ), ***RMAT*** (МАТЕРИАЛ), ***MATLIB*** (Библиотека Материалов), ***BACKGROUND*** (ФОН) и др.

Выполнить упражнение № 135.

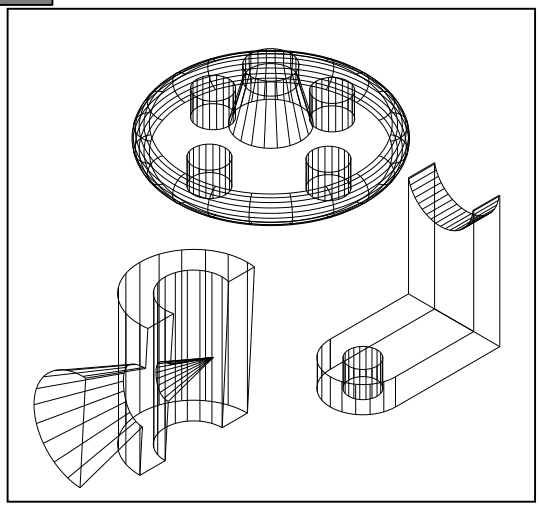
Тонировать объекты ***№ 135***

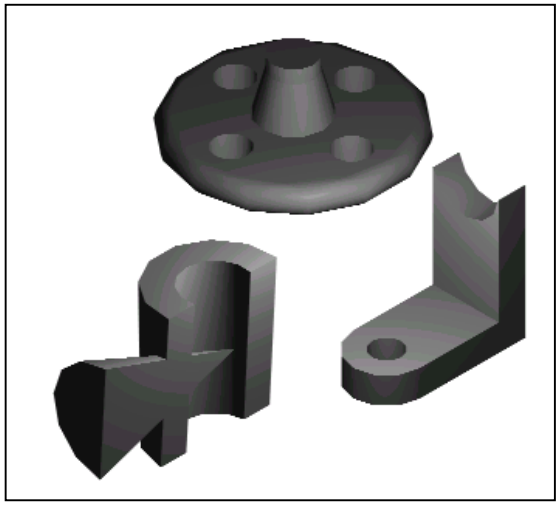


RENDER

Падающее меню ***VIEW → RENDER → RENDER***

В диалоговом окне Render нажать кнопку Render





16.4. ВКЛЮЧЕНИЕ ФОНА В ИЗОБРАЖЕНИЕ СЦЕНЫ

В ***AutoCAD*** имеется несколько функций для добавления фона в создаваемую сцену. В качестве фона можно выбрать изображение неба, добавить элементы ландшафта и др., вызываемой командой ***BACKGROUND*** (ФОН).



Команда ***BACKGROUND*** (ФОН) загружается из падающего меню ***View*** (Вид)⇒***Render…***(Тонировать…)⇒***Background*** (Фон) или щелчком мыши по пиктограмме ***Render*** (Тонировать) одноимённой панели инструментов. Существуют четыре типа фона, которые выбираются соответствующими переключениями:

- ***Solid*** (Сплошной) – сплошной одноцветный фон, выбранный из палитры цветов;
- ***Gradient*** (Переход). Фон содержит до трёх цветов, плавно переходящих друг в друга;
- ***Image*** (Изображение) – фон в виде растровой картинки. Эту картинку можно изменять по размеру и положению, а также можно размножить по прямоугольной сетке, заполняя весь фон;
- ***Merge*** (Слияние). Позволяет использовать в качестве фона текущее изображение на экране ***AutoCAD***. Это имеет смысл в том случае, когда тонирование выполняется только по отношению к части экрана. В результате формируется совмещённое изображение тонированного объекта и нетонированного фона.

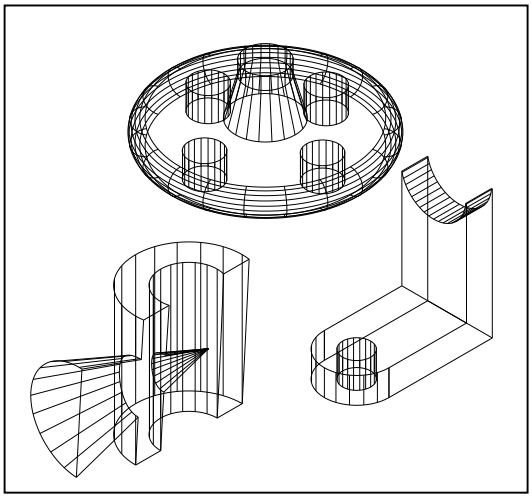
Выполнить упражнение № 136.

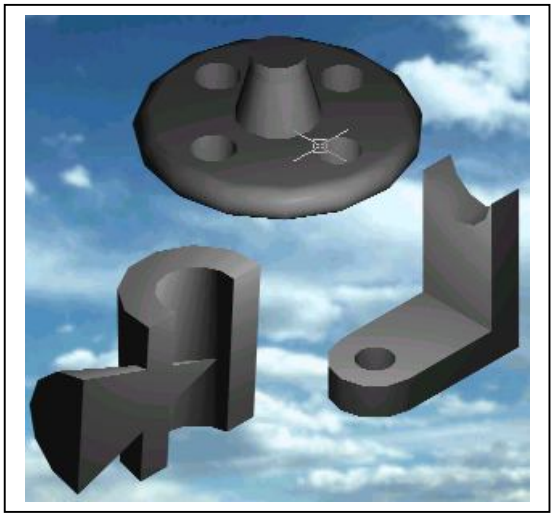
Тонировать объекты с установкой тона ***№ 136***



BACKGROUND

Падающее меню ***VIEW → RENDER → BACKGROUND***
В диалоговом окне BACKGROUND установить режим Image.
В области Image в поле Name ввести имя файла sky.tga
или найти другой файл, нажав кнопку Find File (Найти файл)
В диалоговом окне Render нажать кнопку Render

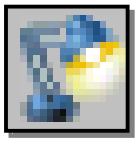




16.5. НАСТРОЙКА ОСВЕЩЕНИЯ

При настройке процесса тонирования по умолчанию ***AutoCAD*** использует один источник света позади камеры. Однако это редко бывает достаточно. В ***AutoCAD*** имеется четыре вида источника света: рассеянный свет (***Ambient light***) и направленные источники света трёх типов:

- ***Point light*** (Точечный источник) – это аналог обычной электрической лампочки. Свет проходит из определённой точки в пространстве модели и распространяется по всем направлениям. Точечный свет рассеивается, то есть его интенсивность уменьшается по мере удаления от источника;
- ***Distance light*** (Удалённый источник) – соответствует солнечному освещению. Источник расположен очень далеко, поэтому световой поток предполагается параллельным, и не учитывается спад интенсивности;
- ***Spotlight*** (Прожектор) – отличается от точечного источника света тем, что создаёт направленный световой поток. Поэтому для прожектора указывается не только его расположение, но и положение целевой точки – два набора координат вместо одного. Кроме того, прожектор имеет более яркий центр вместо одного.



Формирование новых и модификация уже созданных источников света осуществляются командой ***LIGHT*** (СВЕТ), вызываемой из падающего меню ***View*** (Вид)⇒***Render*** (Тонировать)⇒***Light*** (Свет) или щелчком мыши по пиктограмме ***Render*** (Тонировать) одноимённой панели инструментов. При этом загружается диалоговое окно ***Lights*** (Источники света) (рис. 172).

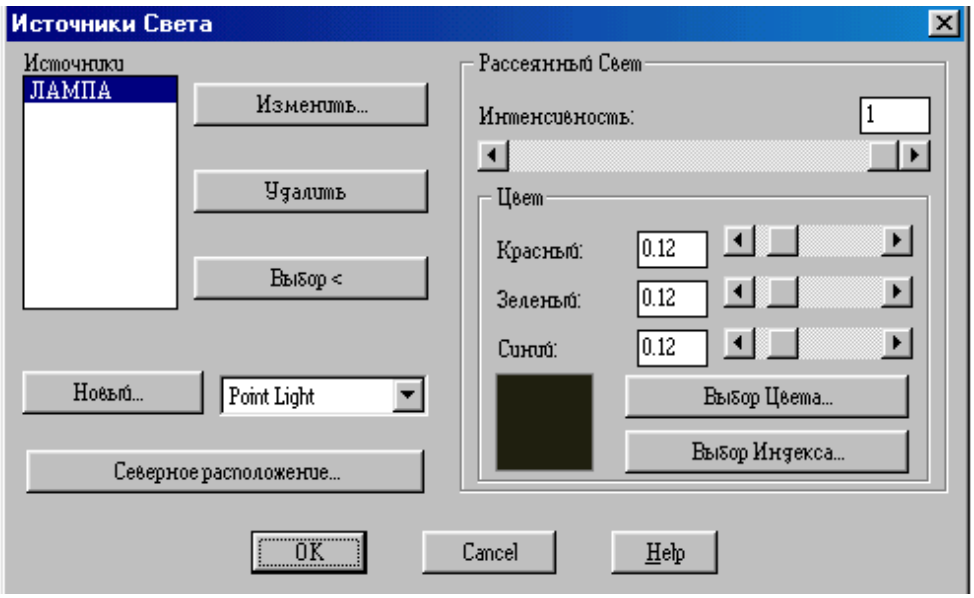


Рис. 172.

Выполнить упражнение № 137.

Создание точечного источника света ***№ 137***



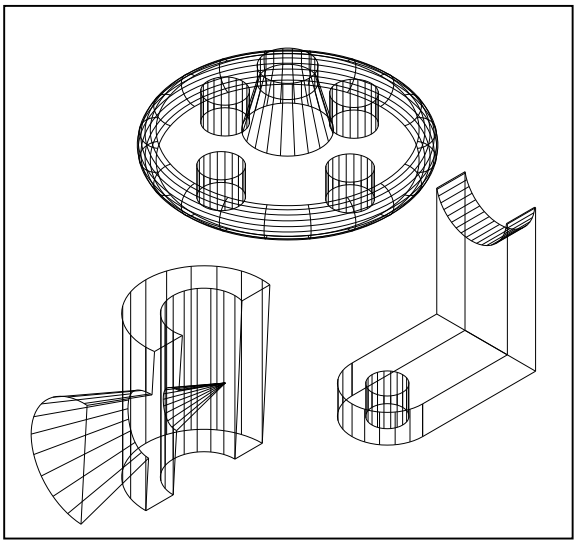
LIGHT Падающее меню ***VIEW → RENDER → LIGHT***

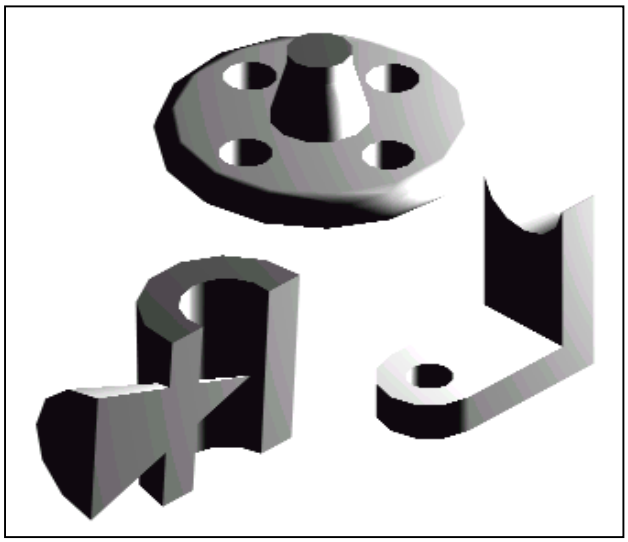
В диалоговом окне Lights (Источники света) выбрать Point Light и нажать кнопку New (Новый).

В поле Name диалогового окна New Point Light ввести имя источника света (можно создать несколько источников) и нажать кнопку Показать/Изменить, ОК (на экране появятся точечные объекты, показывающие нахождение созданных источников света).

Курсором мыши можно изменить местонахождение источников света, ОК

В диалоговом окне Render нажать кнопку Render





16.6. ТЕНИ

Свет от источников позволяет создавать тень только в режимах визуализации ***Photo Real*** (Фотореалистичное) и ***Photo Raytrace*** (Трассировка луча) и отключается при тонировании флажком-выключателем ***Shadows*** (С тенями). В режиме ***Render*** (Упрощенное) свет проходит сквозь поверхности, не создавая теней.

Тени бывают трёх типов: объёмные, карты теней и тени трассировки луча. Настройка типа тени осуществляется в диалоговом окне источника света любого типа, например, в диалоговом окне ***New Point Light*** (Новый точечный источник света). Для этого необходимо в области ***Shadows:*** (Тени:) установить флажок ***Shadows On*** (Включить) и щелкнуть по кнопке ***Shadows Options…***(Параметры теней…). В раскрывшемся окне ***Shadows Options…***(Параметры теней…) включенный флажок ***Shadows Volumes/Raytrace*** (Объёмные тени/Тени трассировки луча) устанавливает тени для режима ***Photo Real*** (Фотореалистичное) и режима ***Photo Raytrace*** (Трассировка луча).

16.7. РАБОТА С МАТЕРИАЛАМИ

В ***AutoCAD*** под материалами понимаются оптические свойства отдельного объекта модели – цвет, шероховатость, текстура поверхности, способность к поглощению и отражению света.



Команда **RMAT** (Материал) вызывается из падающего меню ***View*** (Вид)⇒***Render*** (Тонировать)⇒***Materials…***(Материал…) или щелчком мыши по пиктограмме ***Render*** (Тонировать) одноимённой панели инструментов. При этом загружается диалоговое окно ***Materials*** (Материалы) (рис. 173).

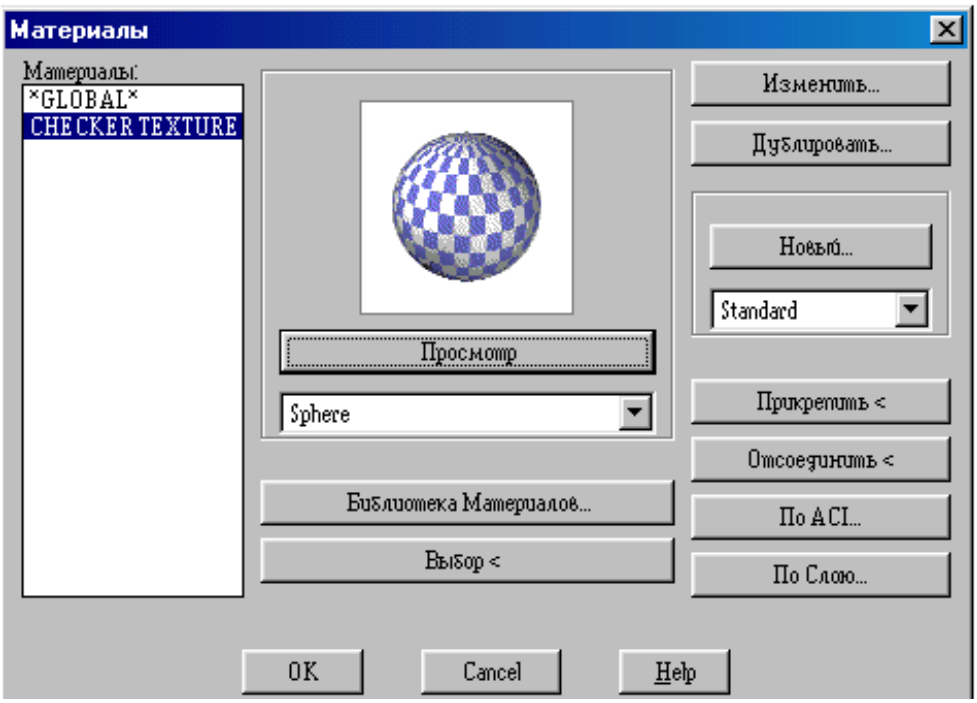


Рис. 173.

Выполнить упражнение № 138.

Тонировать объекты с установкой материала ***№ 138***



RMAT Падающее меню ***VIEW → RENDER → MATERIALS***

В диалоговом окне MATERIALS (Материалы) выбрать кнопку Materials Library (Библиотека материалов).

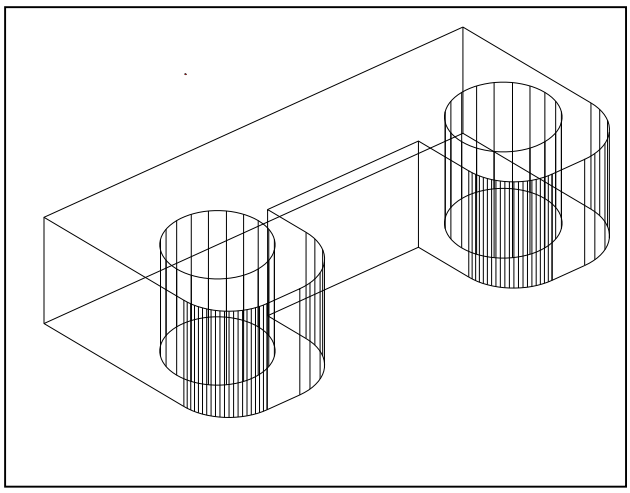
В диалоговом окне Materials Library (Библиотека материалов) в области Current Library (Текущая библиотека) подобрать материал:CHECER TEXTURE, просматривая его в окне Preview.

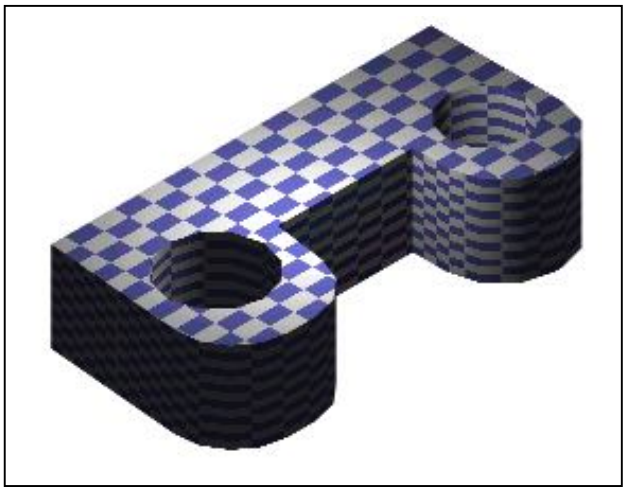
Импортировать материал в область Current Drawing (Текущий рисунок), нажав кнопку <-Import.

В диалоговом окне MATERIALS выбрать кнопку Attach< (Присвоить).

Выбрать объект.

В диалоговом окне Render нажать кнопку Render





ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Построить твердотельную модель заданной детали (прил. 5).

2. Построить твердотельную модель заданной детали, согласно своему варианту (прил. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерная графика – дисциплина, обучающая методам изображения предметов и общим правилам черчения с применением компьютерных технологий.

Скорость, точность и легкость, с которыми создаются модели проектируемых изделий, широкие возможности их преобразования и редактирования, различные способы получения плоских изображений этих изделий (видов, разрезов, сечений), ассоциативно связанных с моделями, - все это обеспечивает огромную экономию времени по сравнению с «ручным» черчением. Но при этом не следует забывать о законах формирования геометрических моделей, теория которых излагается в начертательной геометрии.

Многообразие систем информационных технологий требует от специалиста умения применять свои знания при решении конкретной задачи, компонентами которых являются: умение осознать, формулировать и творчески решать задачи; умение ориентироваться в многообразии программных продуктов, существующих на сегодняшний день; чётко представлять возможности и характеристики того или иного пакета прикладных программ; умение выбрать наиболее оптимальный путь из предложенных для решения конкретной задачи; умение быстро перестраиваться при смене программного обеспечения.

Как показывает анализ действий специалистов на предприятиях различного профиля, можно быть прекрасным программистом, владеющим средствами вычислительной техники и совершенно не представляющим, как формируется модель изделия. И наоборот, можно быть специалистом в своей предметной области и не учитывать специфических особенностей использования вычислительной техники и программных средств.

Однако геометрическая теория моделирования позволяет объединить знания для раскрытия возможностей применения определённых алгоритмов и взаимодействия их с различными пакетами прикладных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ЕСКД. ГОСТ 2.305-68. Изображения – виды, разрезы сечения. М.: Гос. ком. стандартов СССР, 1984.

ЕСКД. ГОСТ 2.305-68. Нанесение размеров и предельных отклонений на чертежах. М.: Гос. ком. стандартов СССР, 1984.

Романычева Э. Т., Соколова Т. Ю. Компьютерная технология инженерной графики в среде AutoCAD 2000: Учебное пособие. М.: ДМК Пресс, 2001. 656 с.

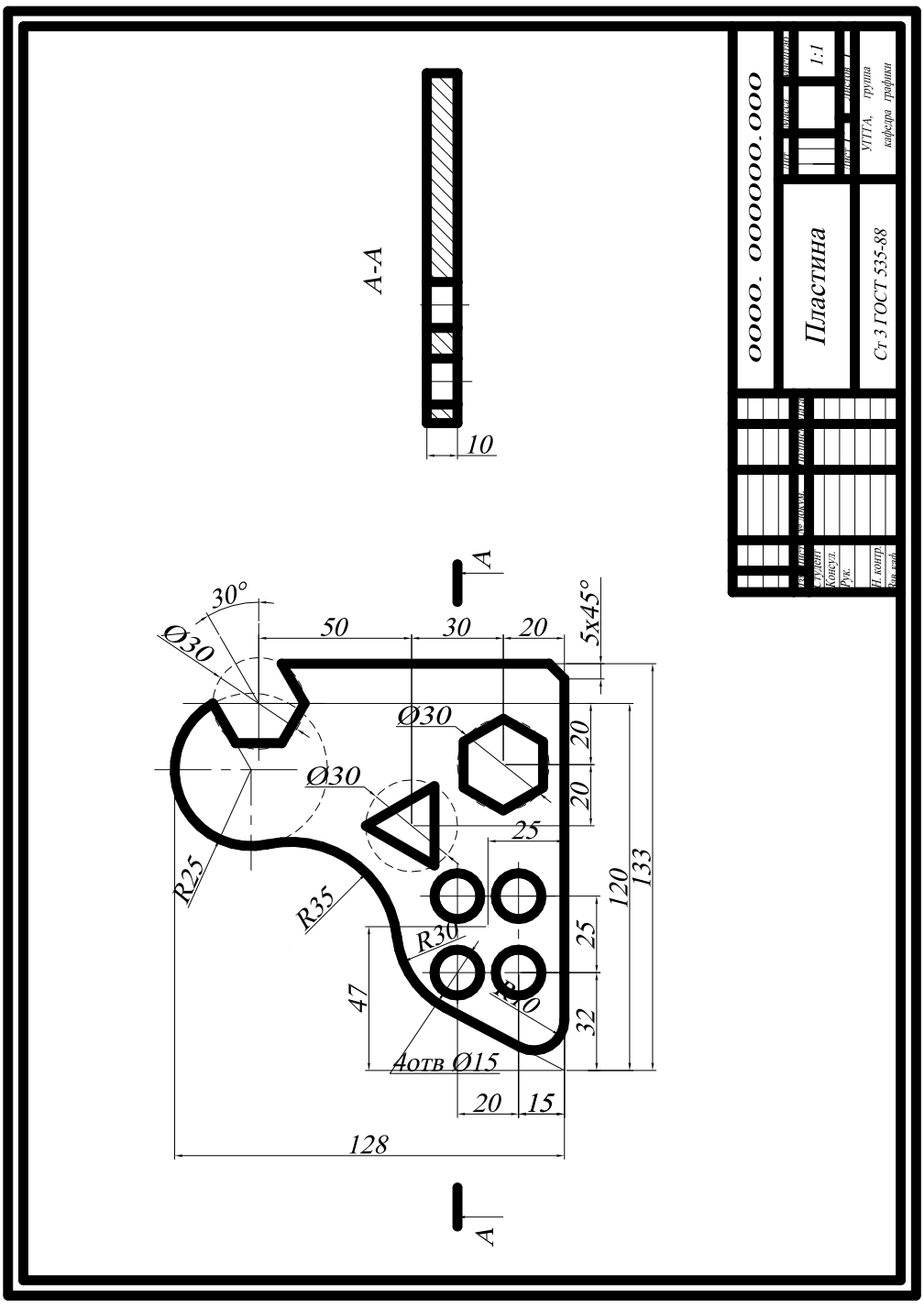
Шангина Е.И. Инженерная графика. Теория и приложения: Учебно-методическое пособие (допущено УМО РФ в области горного дела). – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 256 с., ил.

Федоренков А. П., Басов К. А., Кимаев А. М. AutoCAD 2000: Практический курс. М.: Издательство «ДЕСС», 2000. 528 с., ил.

ПРИЛОЖЕНИЯ

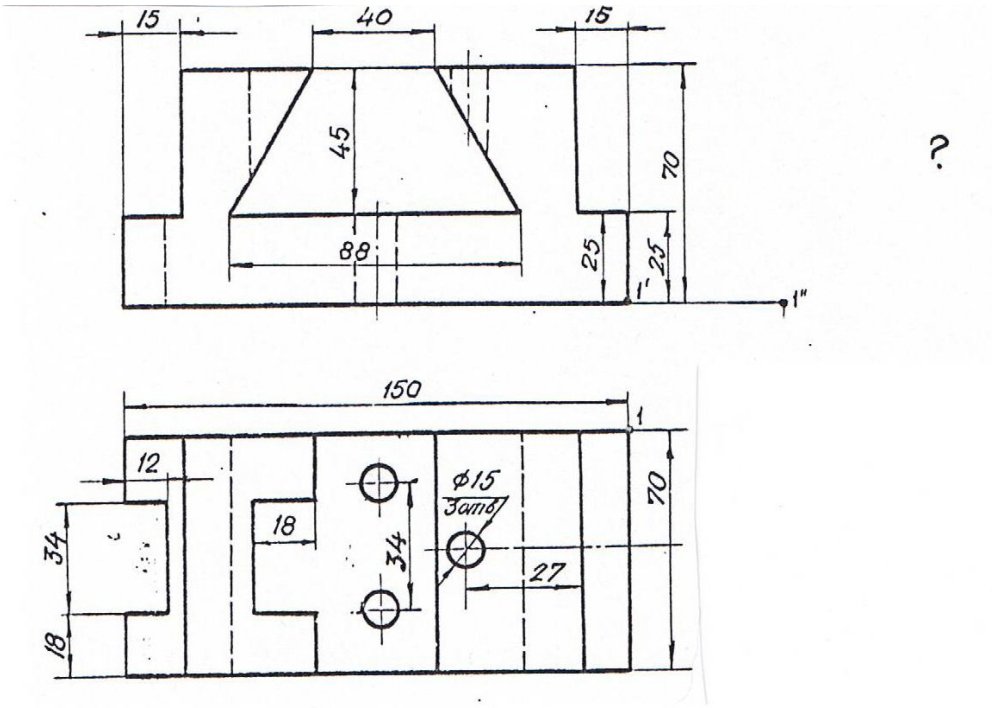
Приложение 1

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОЧЕГО ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ

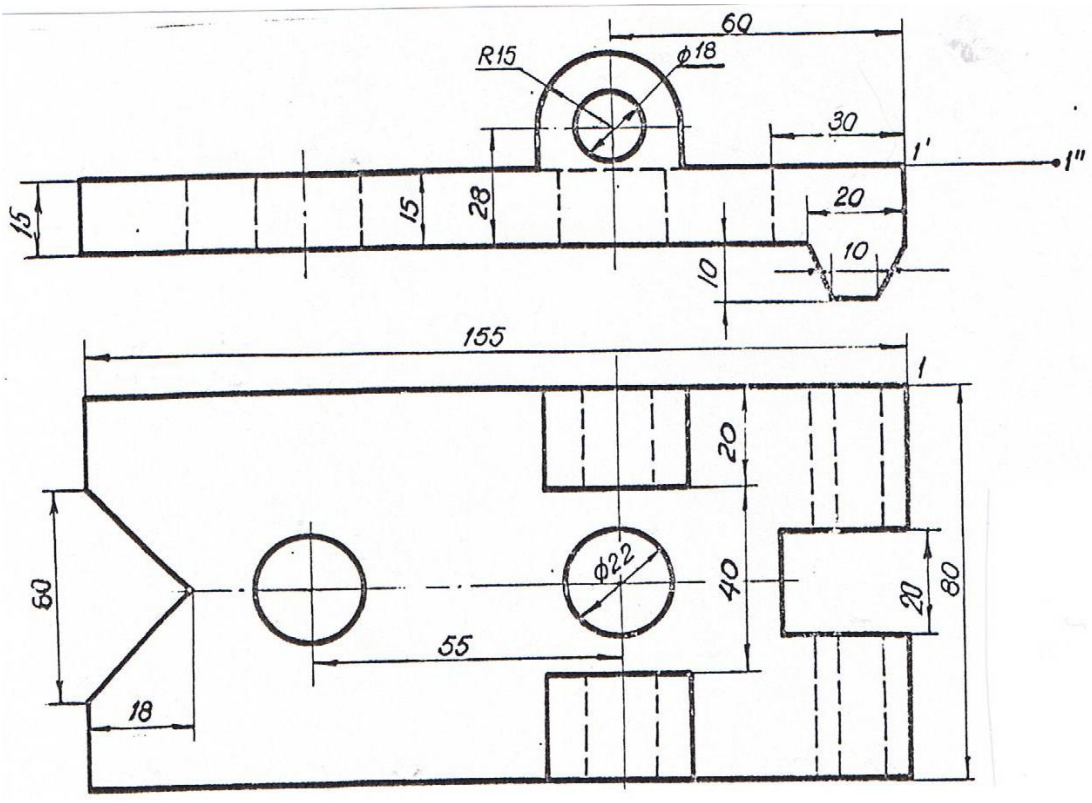


Приложение 2

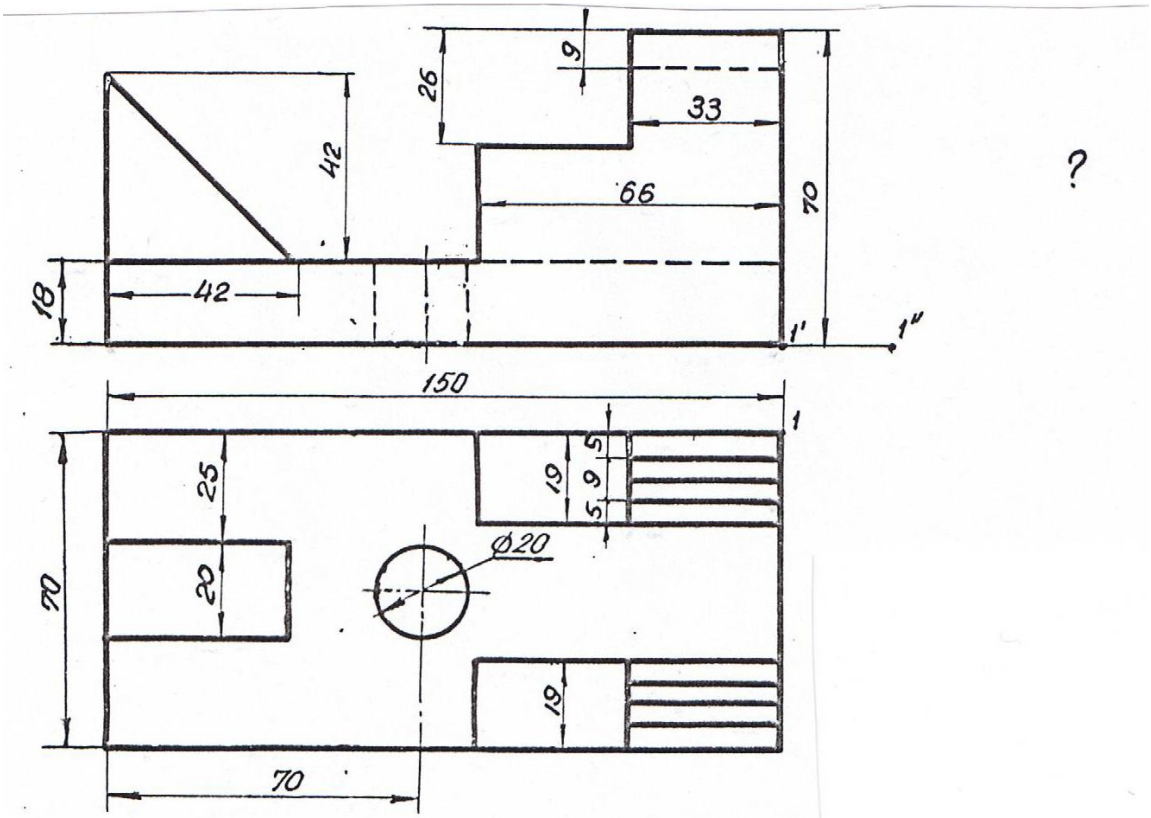
ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 1



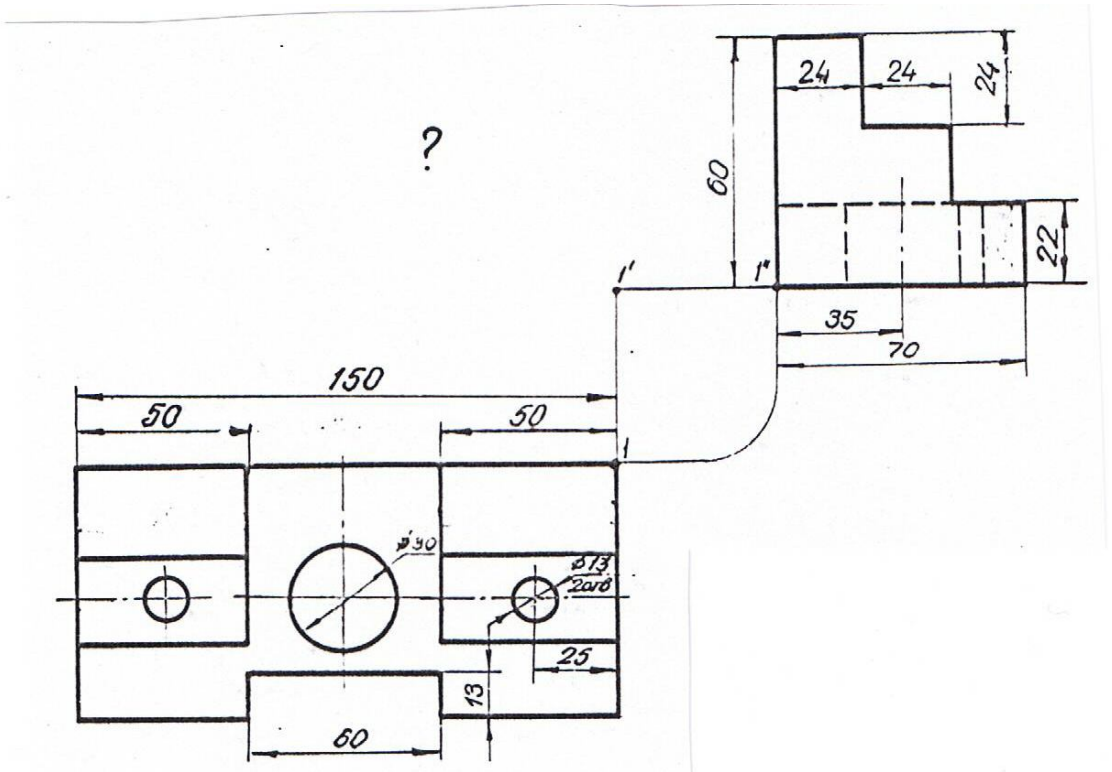
Вариант 1. Вычертить призму в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать фронтальный разрез и половину профильного разреза.



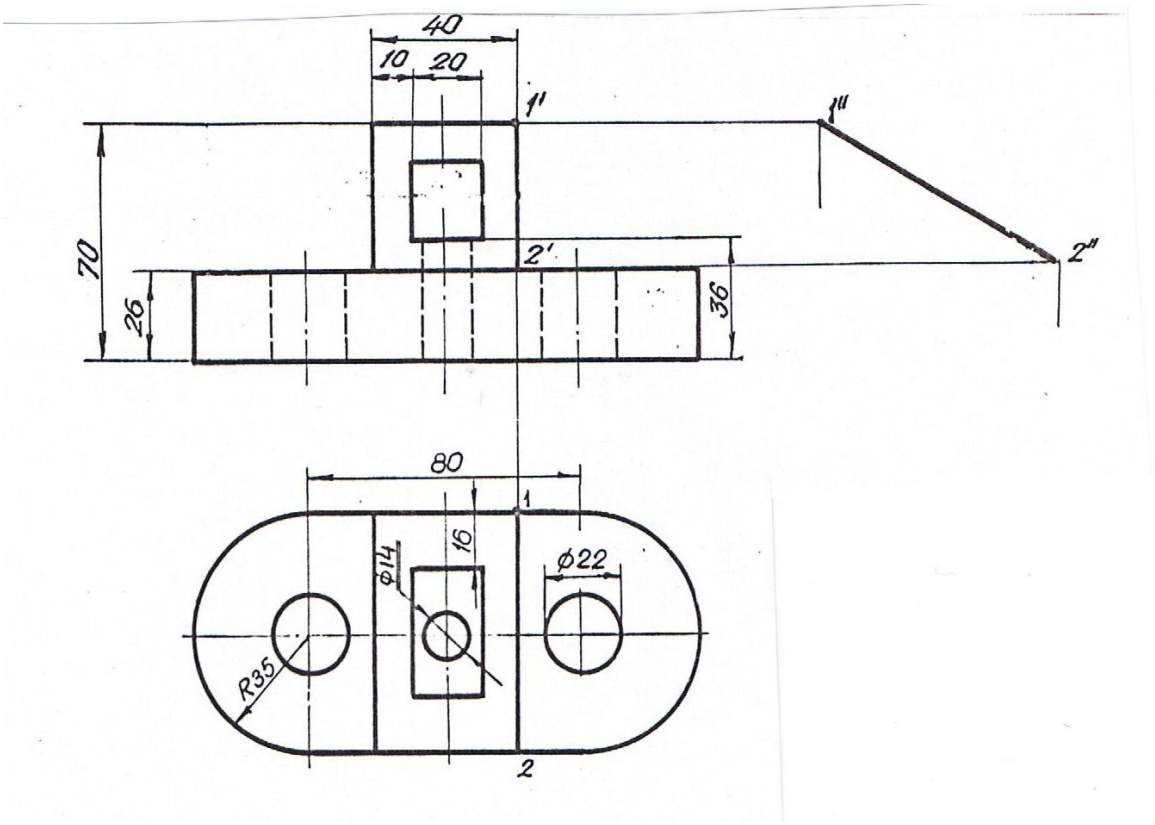
Вариант 2. Вычертить накладку в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Выполнить фронтальный и профильный разрезы.



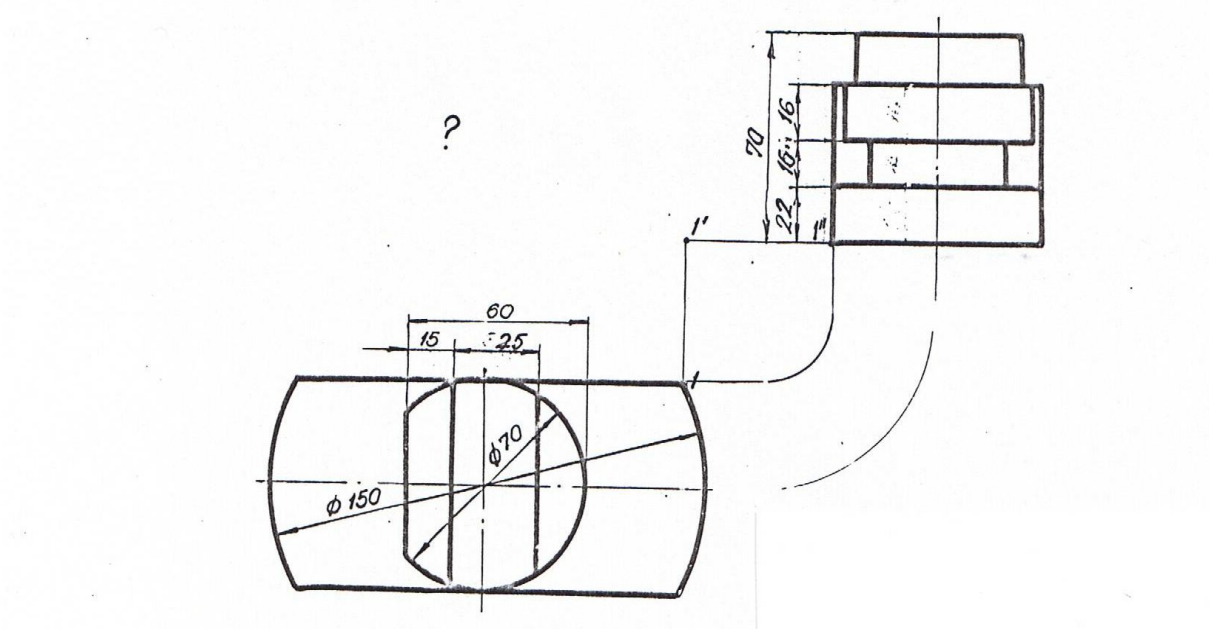
Вариант 3. Вычертить ограничитель в масштабе 1:1 и достроить вид слева. Выполнить половину профильного разреза



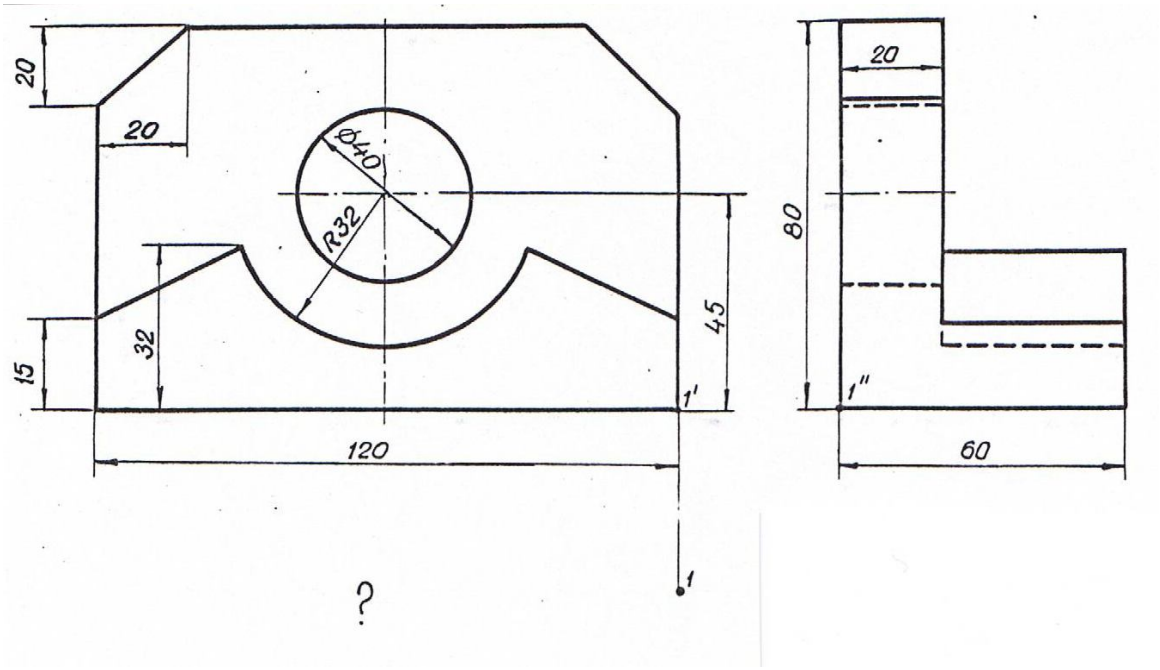
Вариант 4. Вычертить подкладку в масштабе 1:1 и достроить вид спереди. Сделать фронтальный и профильный разрезы.



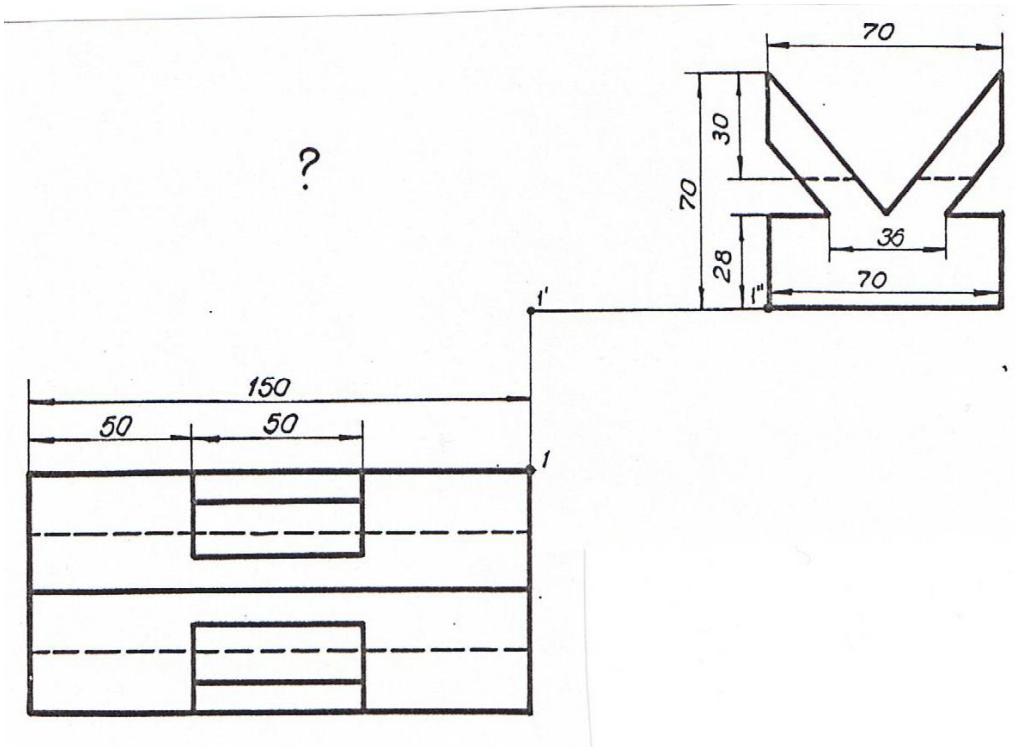
Вариант 5. Вычертить упор в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Выполнить фронтальный и профильный разрезы.



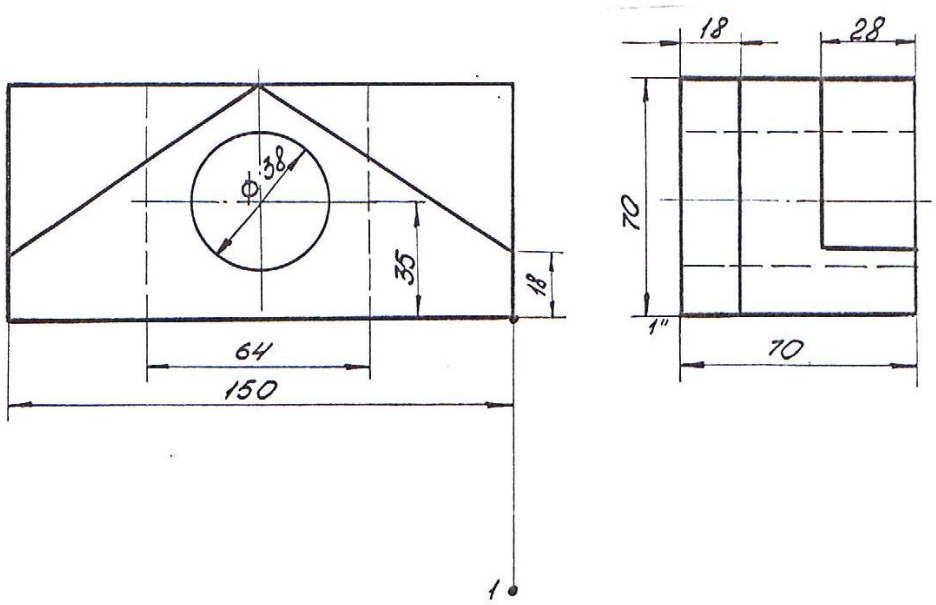
Вариант 6. Вычертить подставку в масштабе 1:1 и достроить вид спереди.



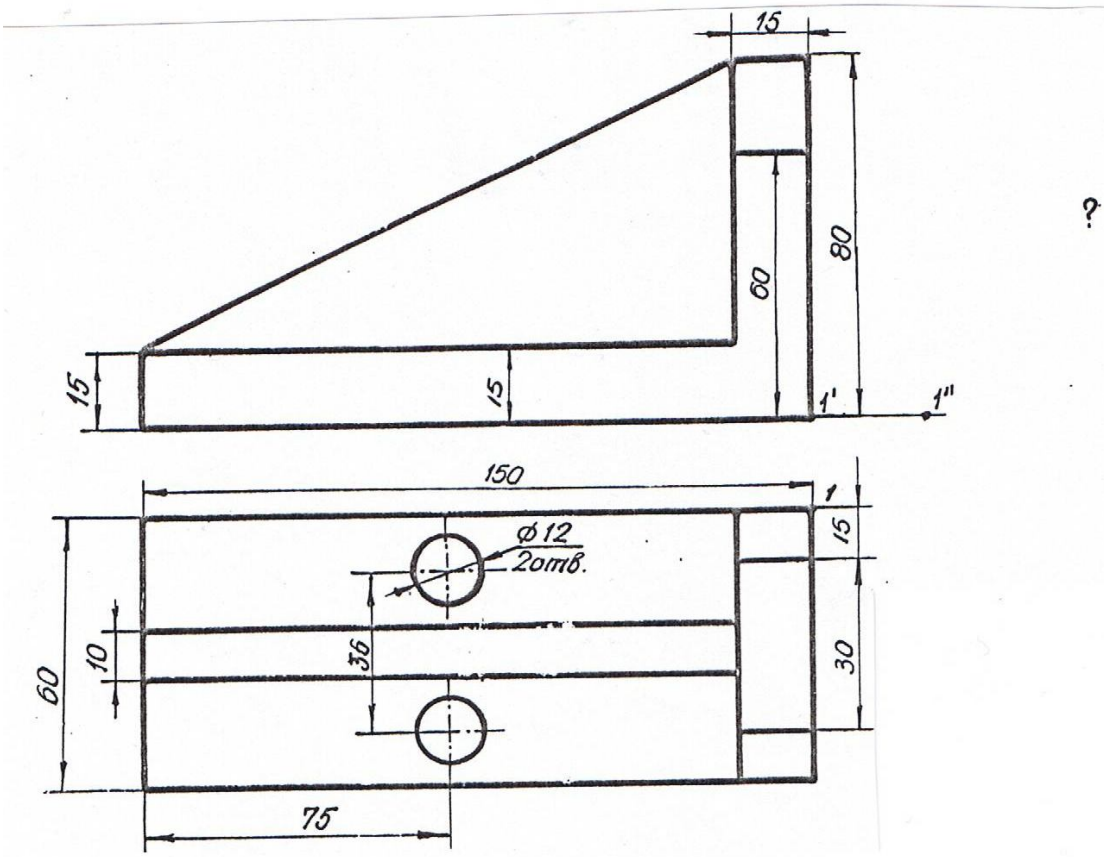
Вариант 7. Вычертить кулачок в масштабе 1:1 и достроить вид сверху.



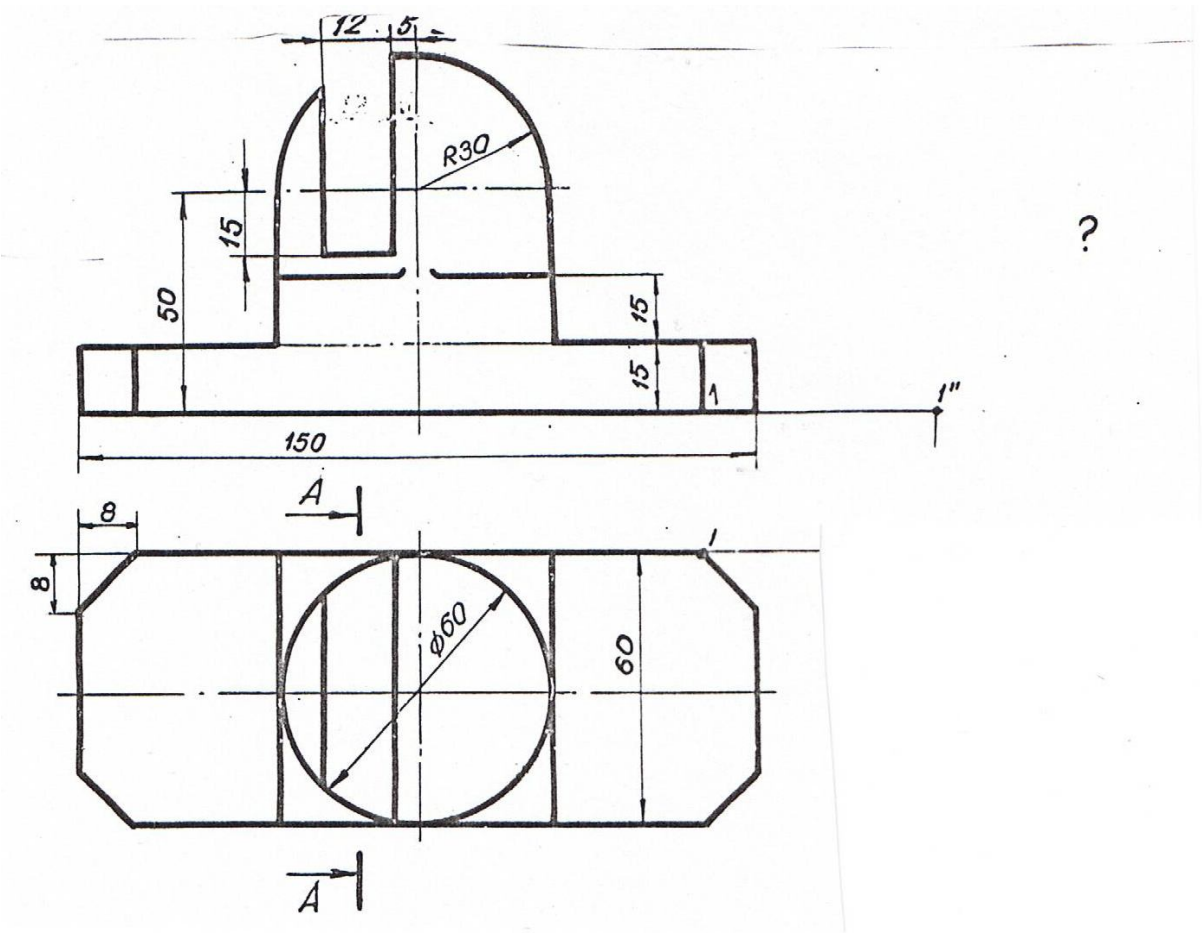
Вариант 8. Вычертить призму в масштабе 1:1 и достроить главный вид.



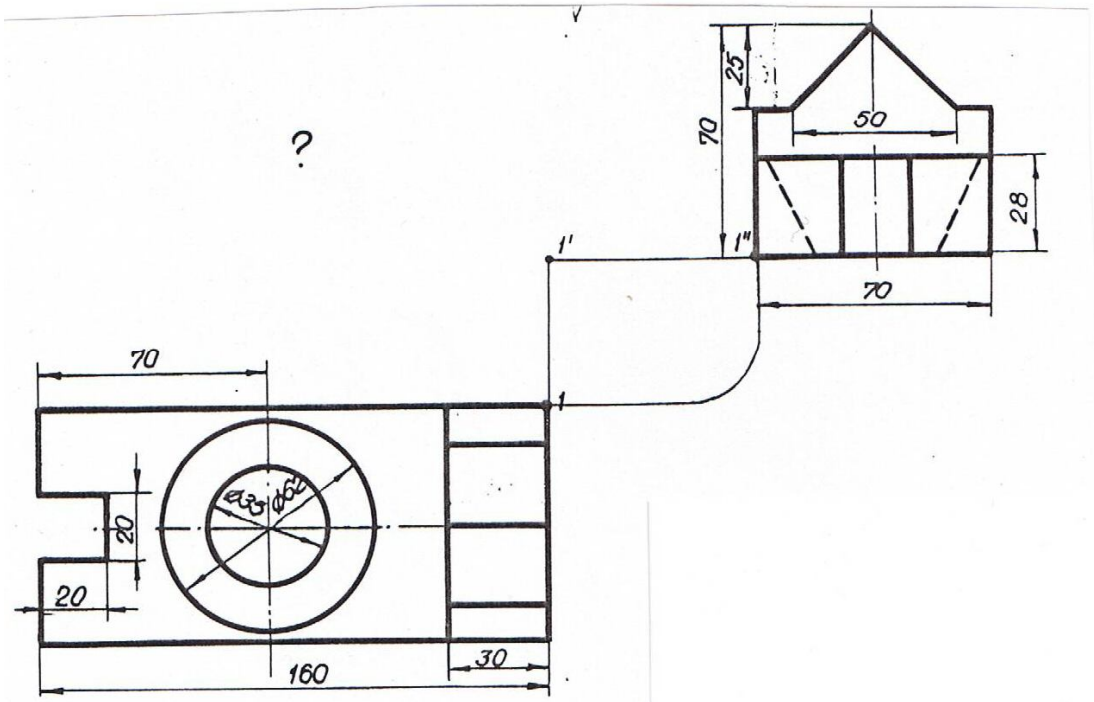
Вариант 9. Вычертить вкладыш в масштабе 1:1 и достроить вид сверху.
Выполнить горизонтальный разрез.



Вариант 10. Вычертить угольник в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать профильный разрез.



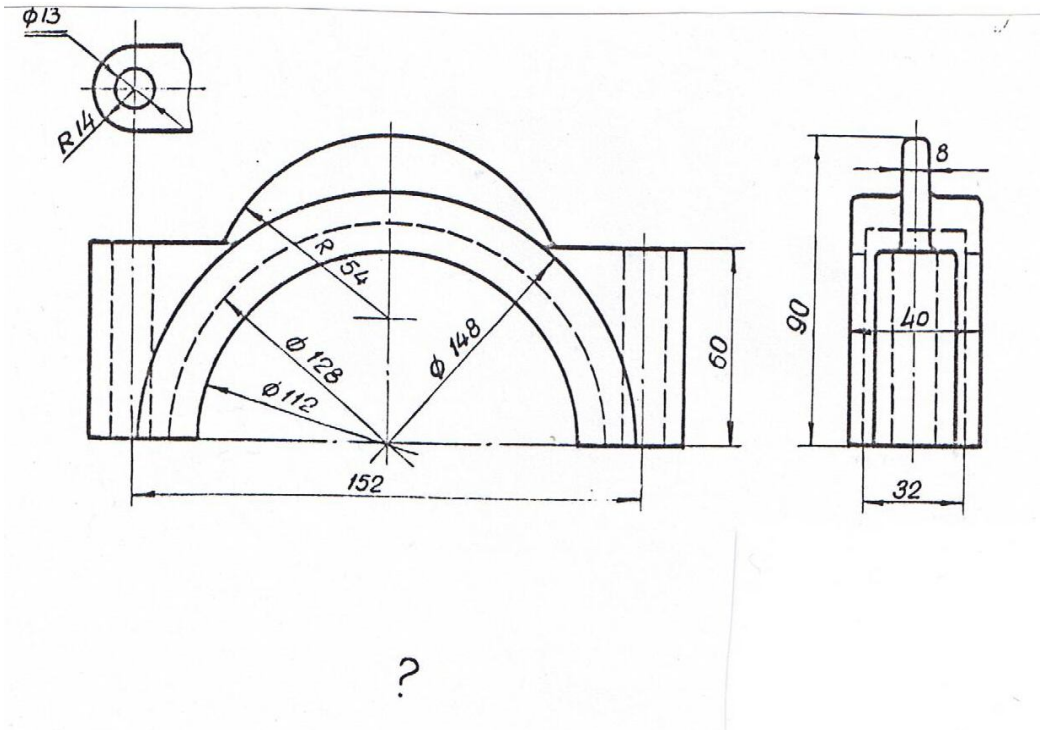
Вариант 11. Вычертить подставку в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Выполнить половину разреза А-А.



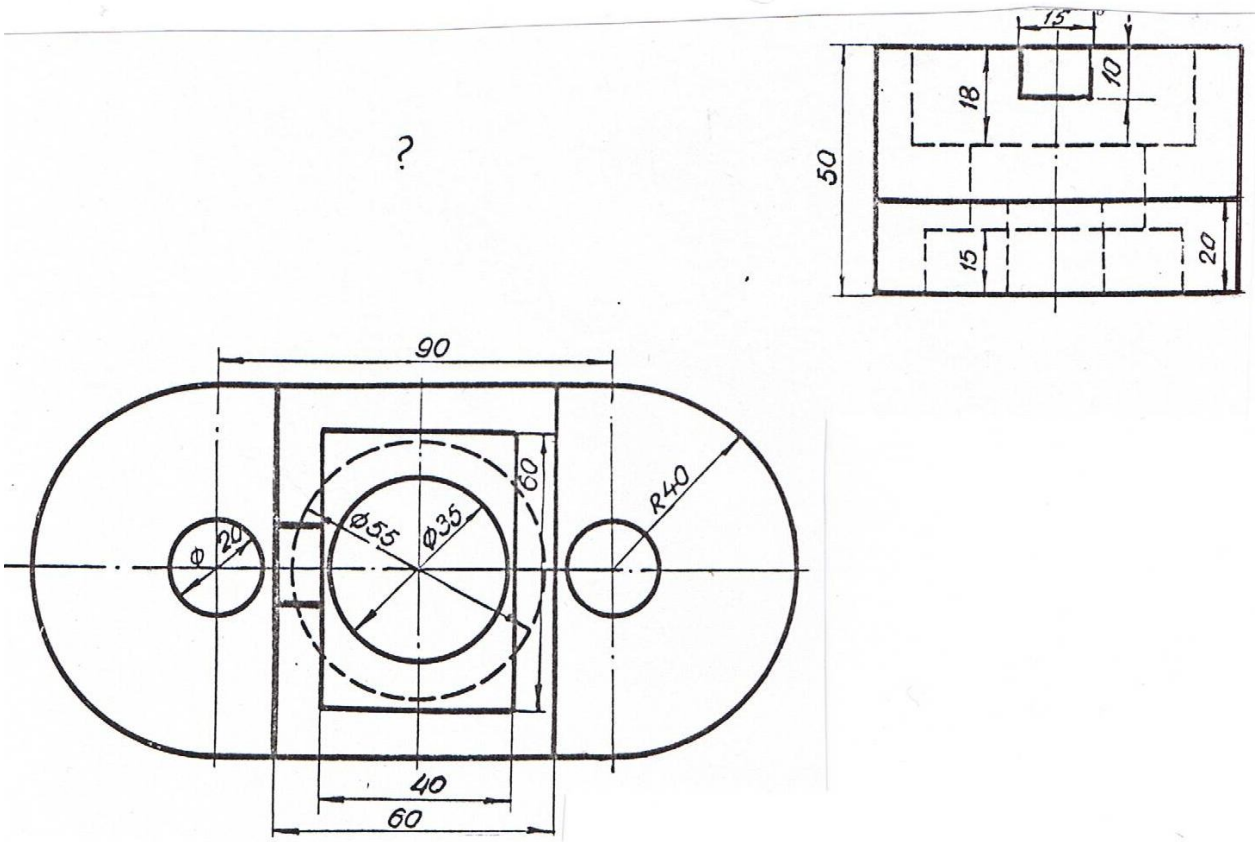
Вариант 12. Вычертить упор в масштабе 1:1 и достроить вид спереди.
Сделать половину профильного разреза.

Приложение 3

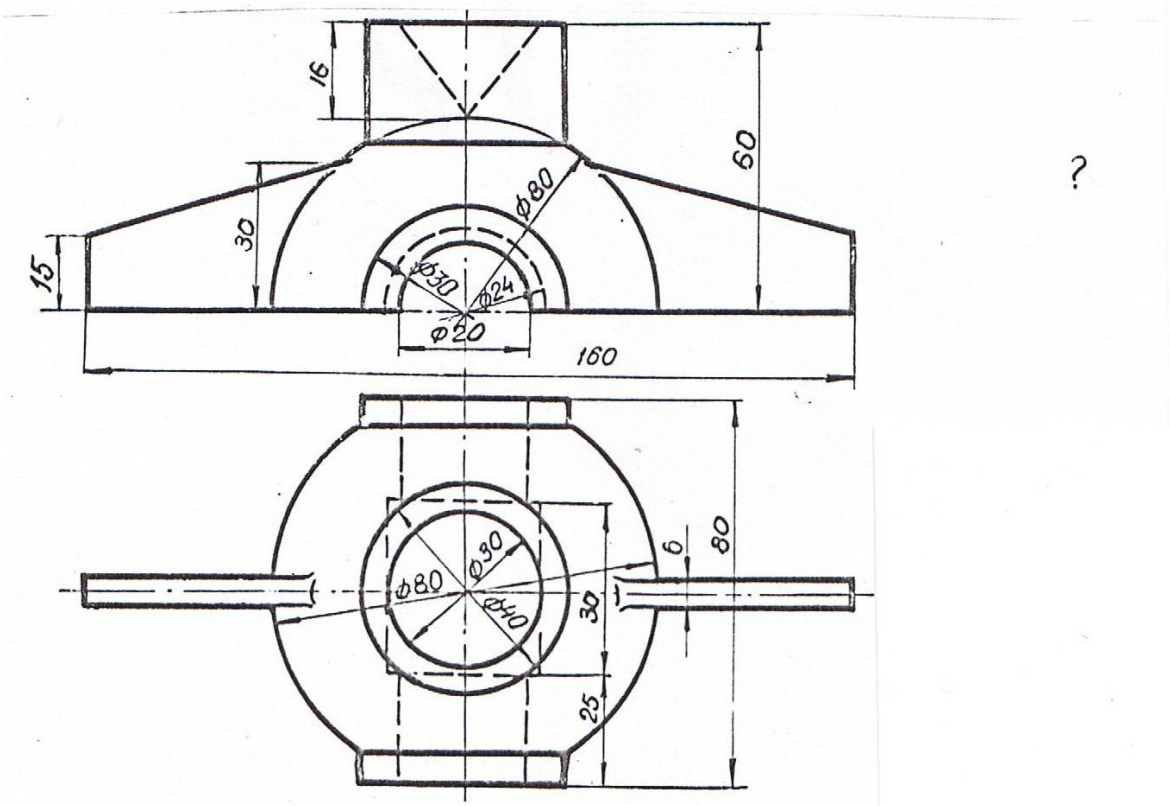
ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 2



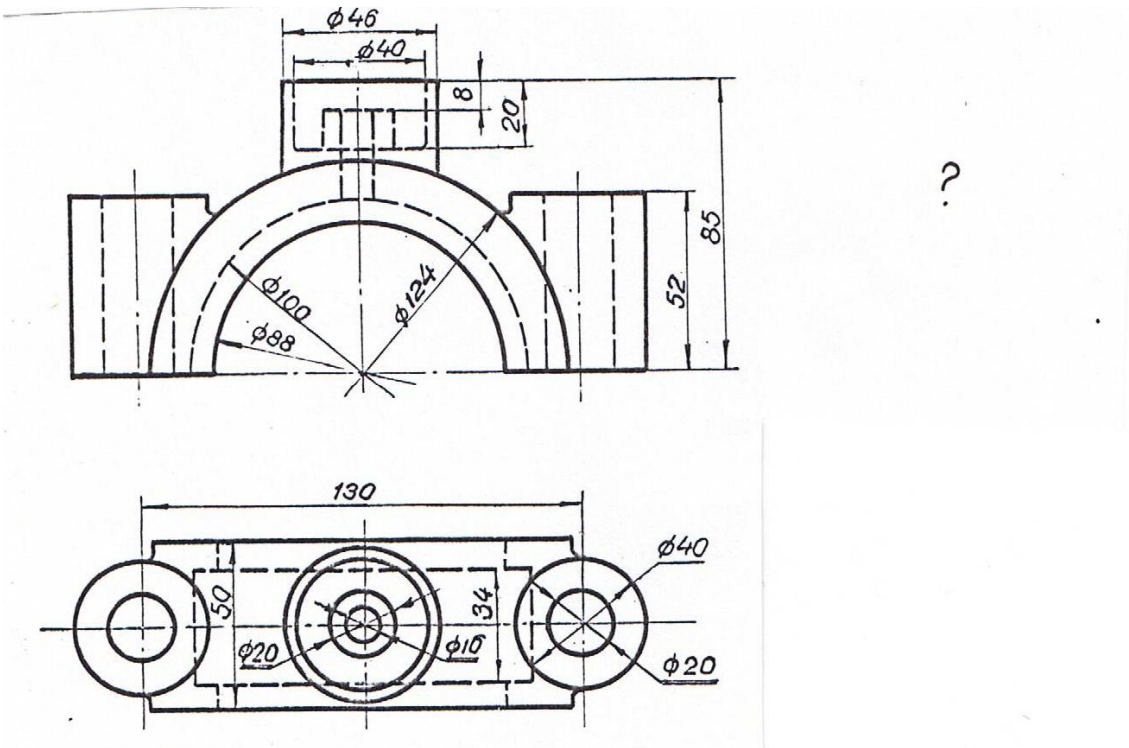
Вариант 1. Вычертить корпус бугеля в масштабе 1:1, достроить вид сверху, сделать половину фронтального и половину профильного разрезов.



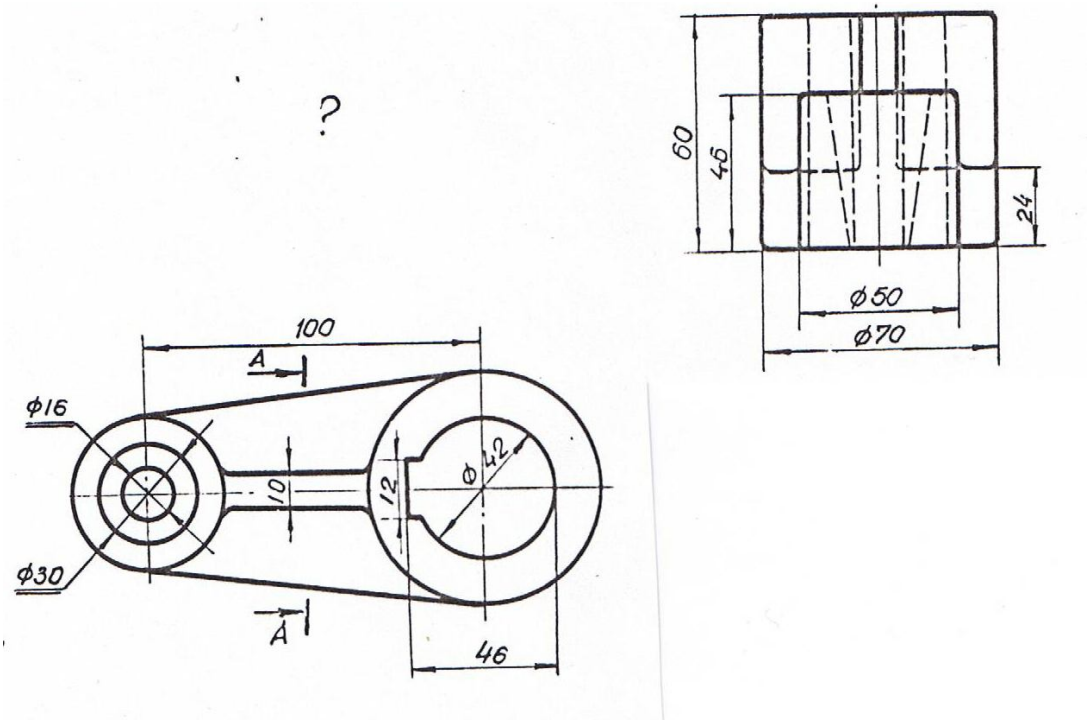
Вариант 2. Вычертить плиту в масштабе 1:1 и достроить вид спереди. Сделать фронтальный и половину профильного разрезов.



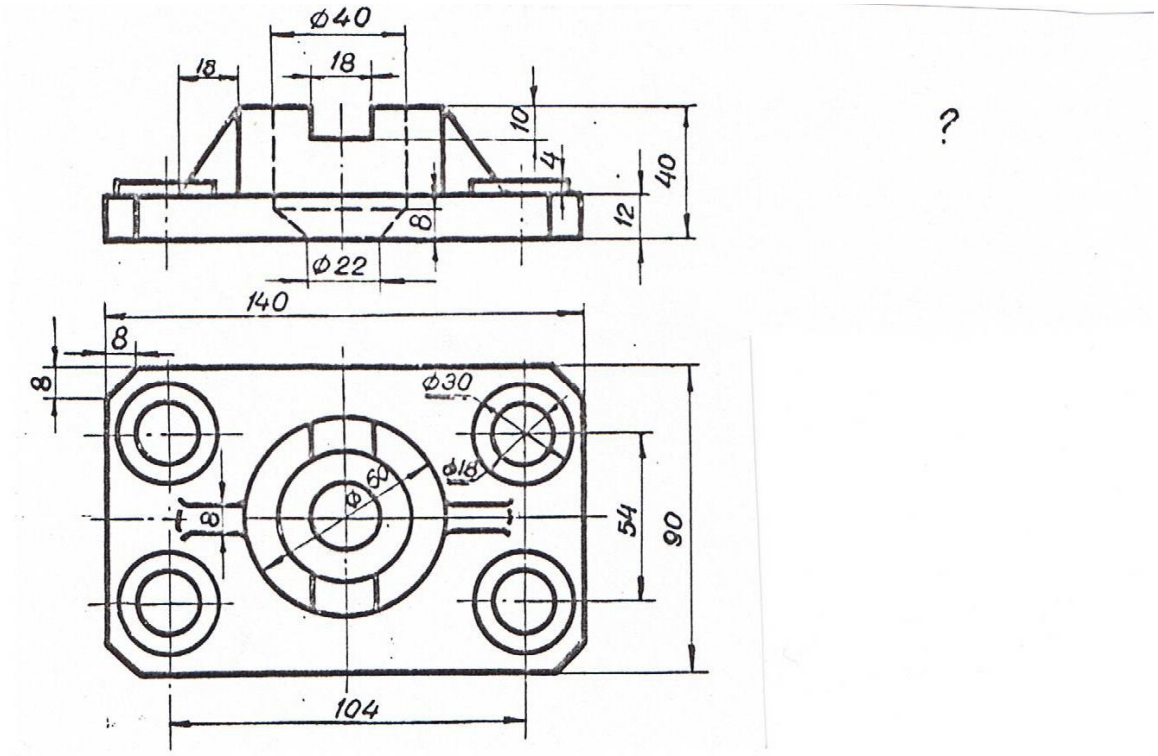
Вариант 3. Вычертить крышку в масштабе 1:1, достроить вид слева.
Сделать половину фронтального и половину профильного разрезов.



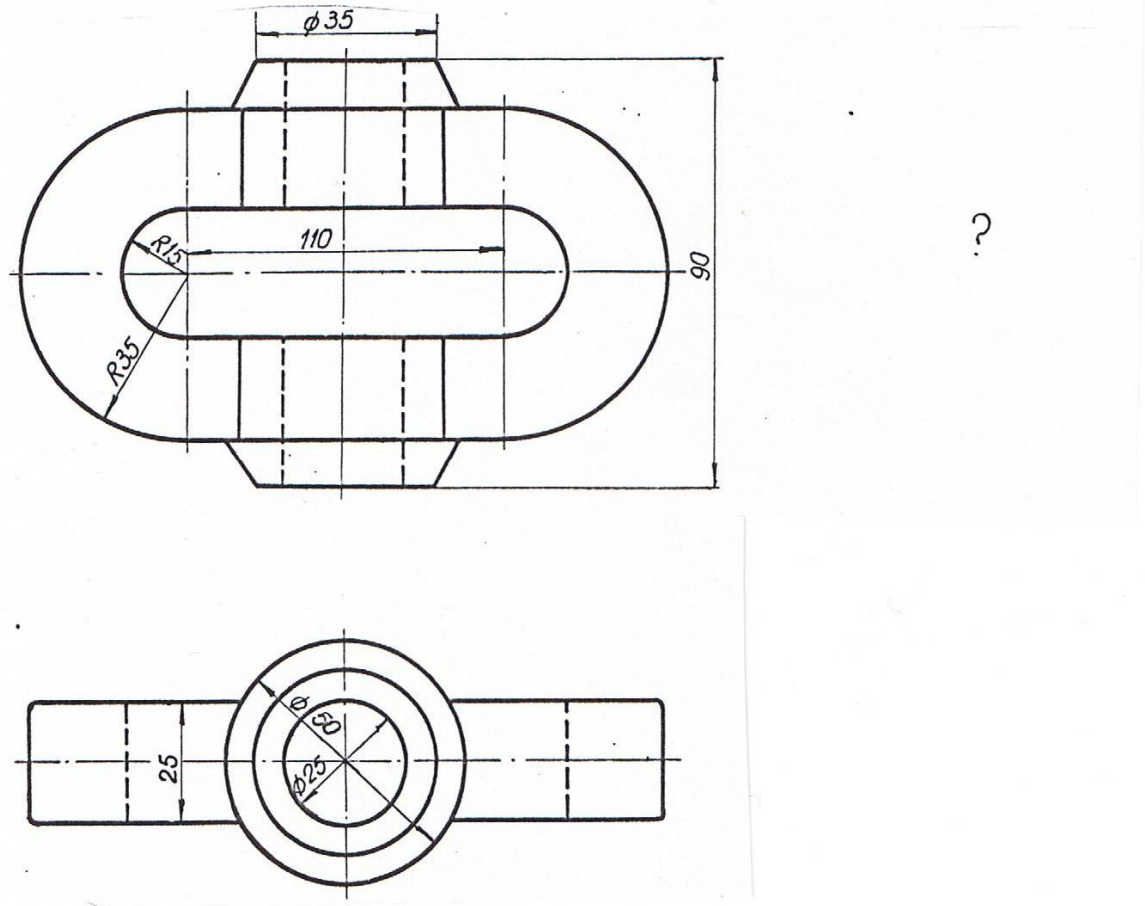
Вариант 4.Вычертить крышку подшипника в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать половину фронтального и половину профильного разрезов.



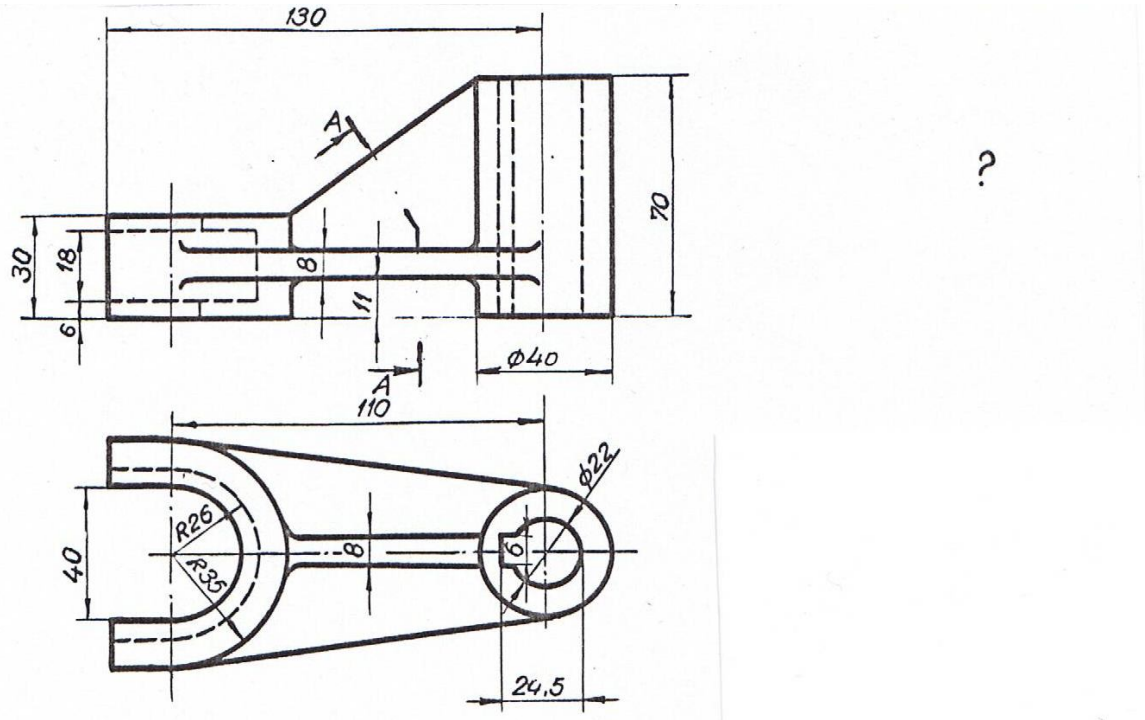
Вариант 5. Вычертить шатун в масштабе 1:1 и достроить вид спереди.
Сделать фронтальный разрез и сечение А-А.



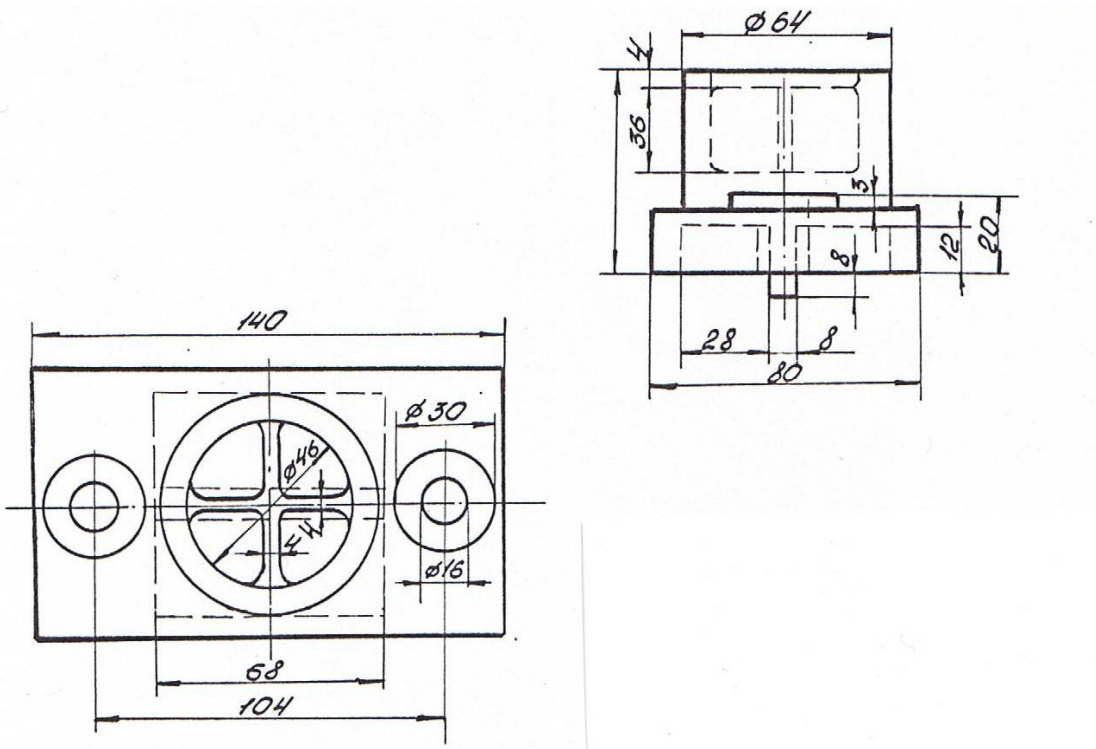
Вариант 6. Вычертить плиту в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать ступенчатый фронтальный разрез и половину профильного разреза.



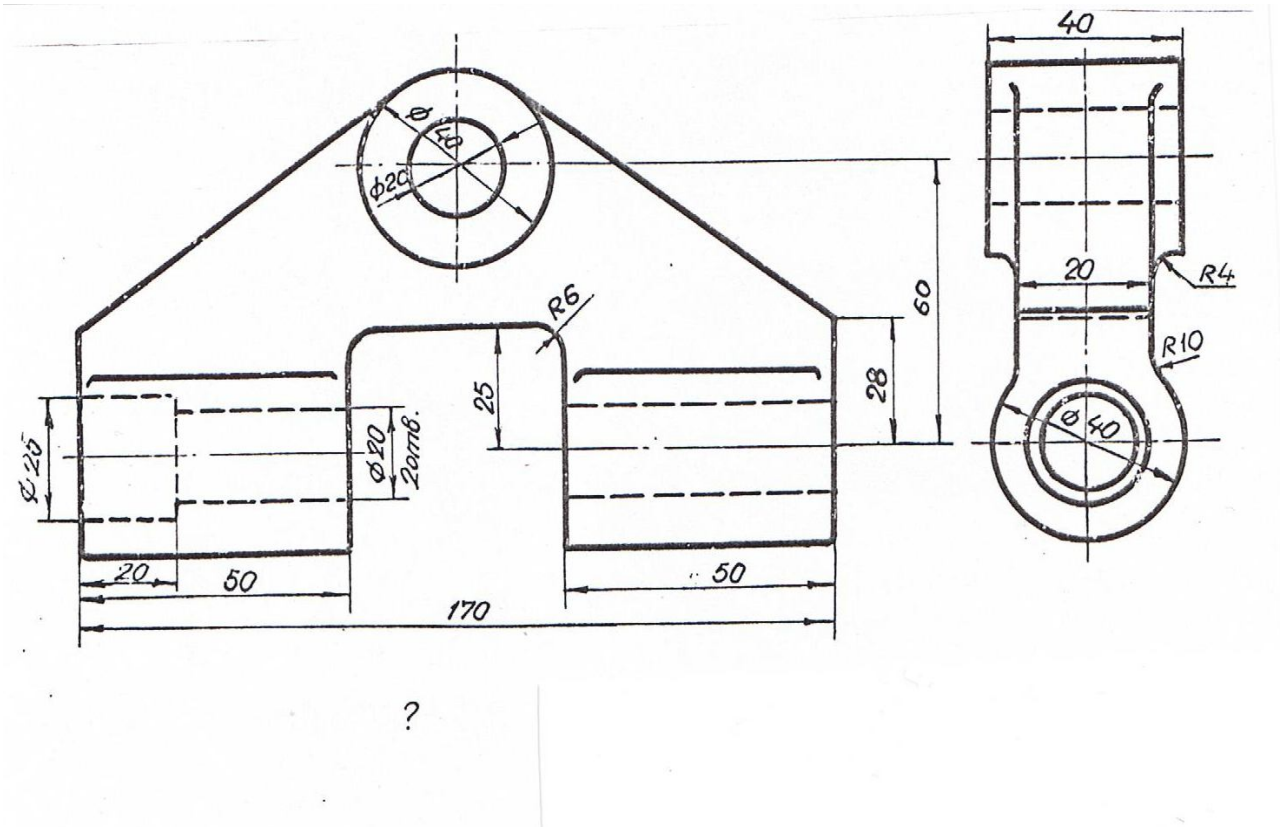
Вариант 7. Вычертить петлю в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать половину профильного и половину горизонтального разрезов.



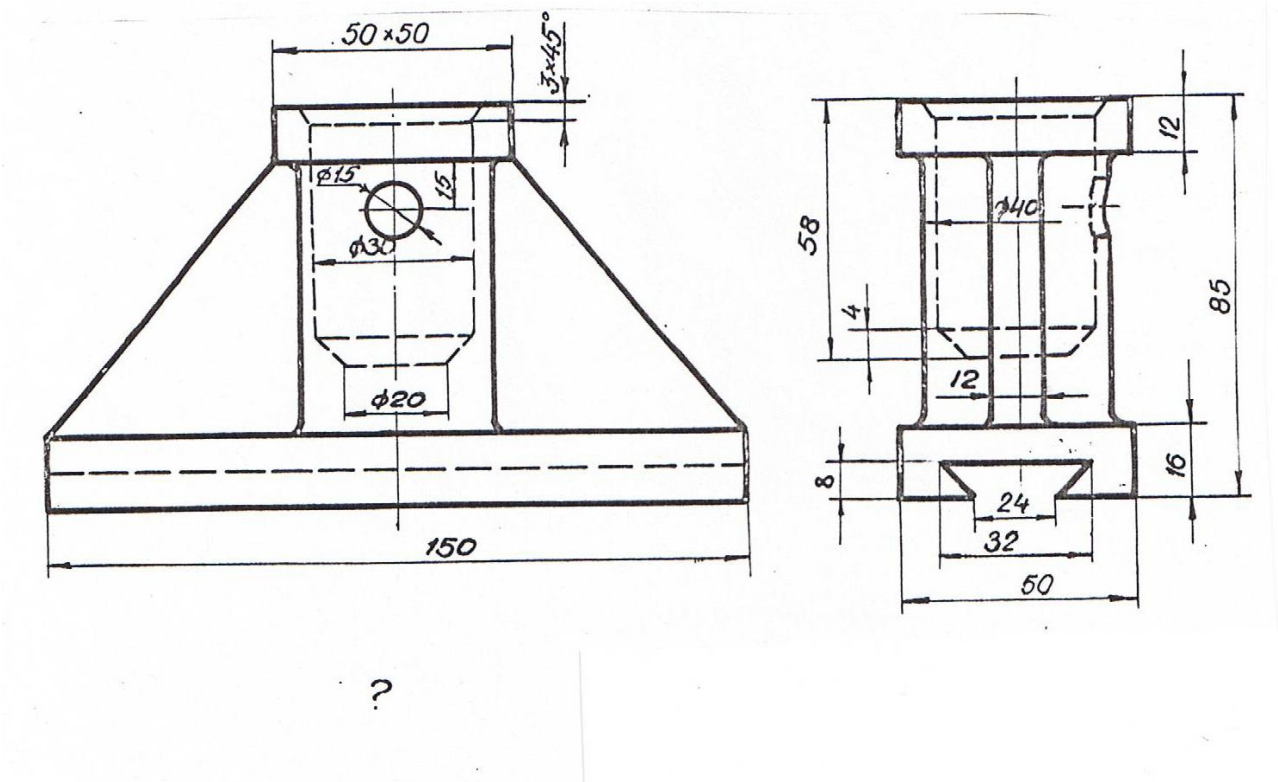
Вариант 8. Вычертить вилку в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать фронтальный разрез и сечение А-А.



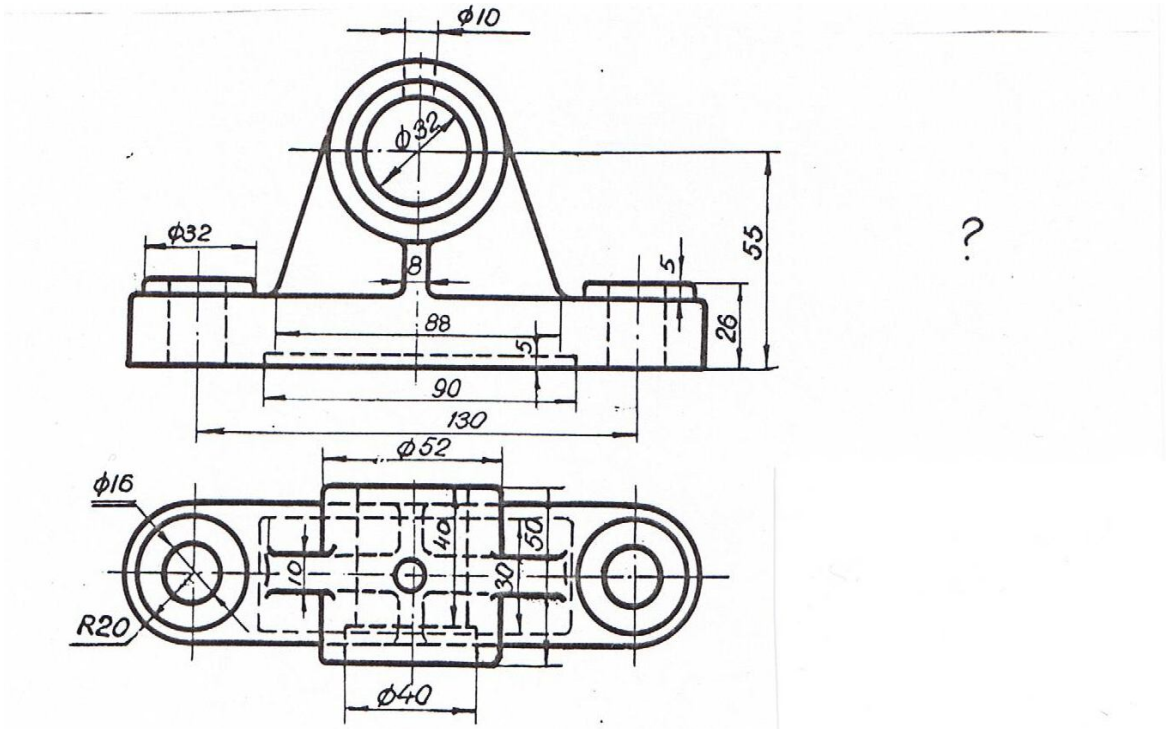
Вариант 9. Вычертить подпятник в масштабе 1:1 и достроить вид спереди.
Сделать половину фронтального и половину профильного разрезов.



Вариант 10. Вычертить шарнир в масштабе 1:1 и достроить вид сверху.
Сделать профильный разрез и местный разрез на виде спереди.



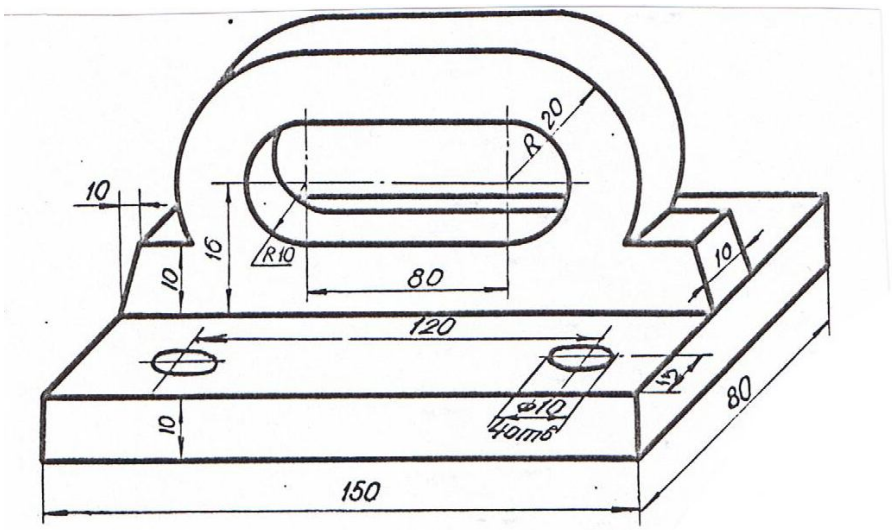
Вариант 11. Вычертить подставку в масштабе 1:1 и достроить вид сверху.
Сделать половину фронтального разреза и местный профильный.



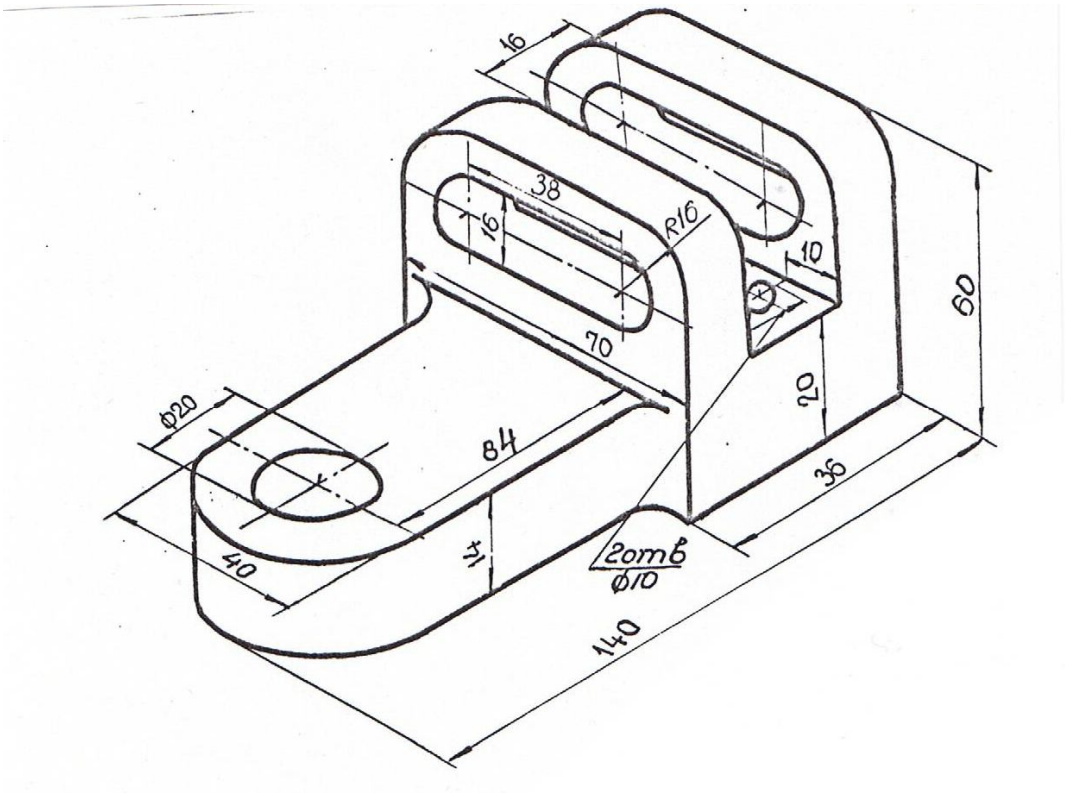
Вариант 12. Вычертить подшипник в масштабе 1:1 и достроить вид слева.
Сделать профильный разрез и местный разрез на виде спереди.

Приложение 4

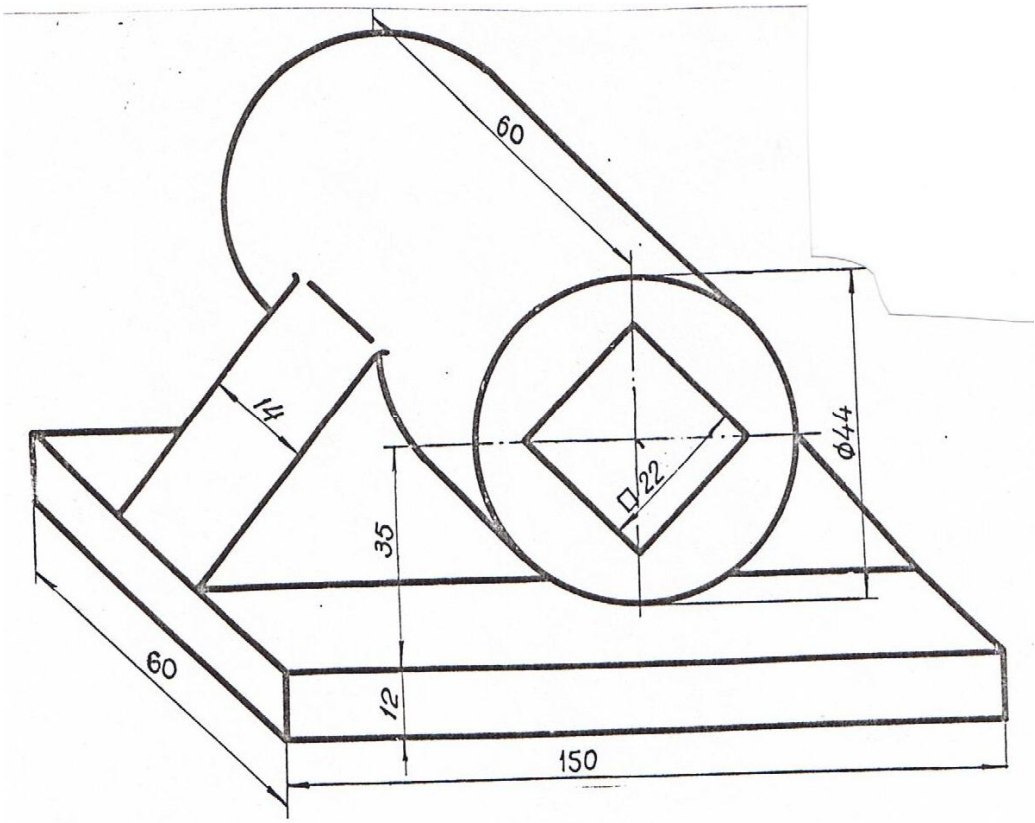
ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 3



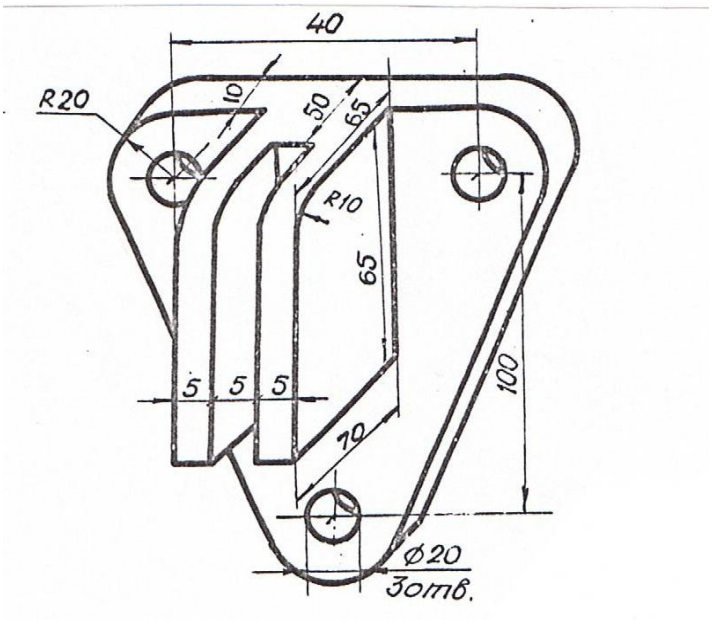
Вариант 1. Вычертить в трех ортогональных проекциях плиту в масштабе 1:1.
Сделать ступенчатый профильный разрез.



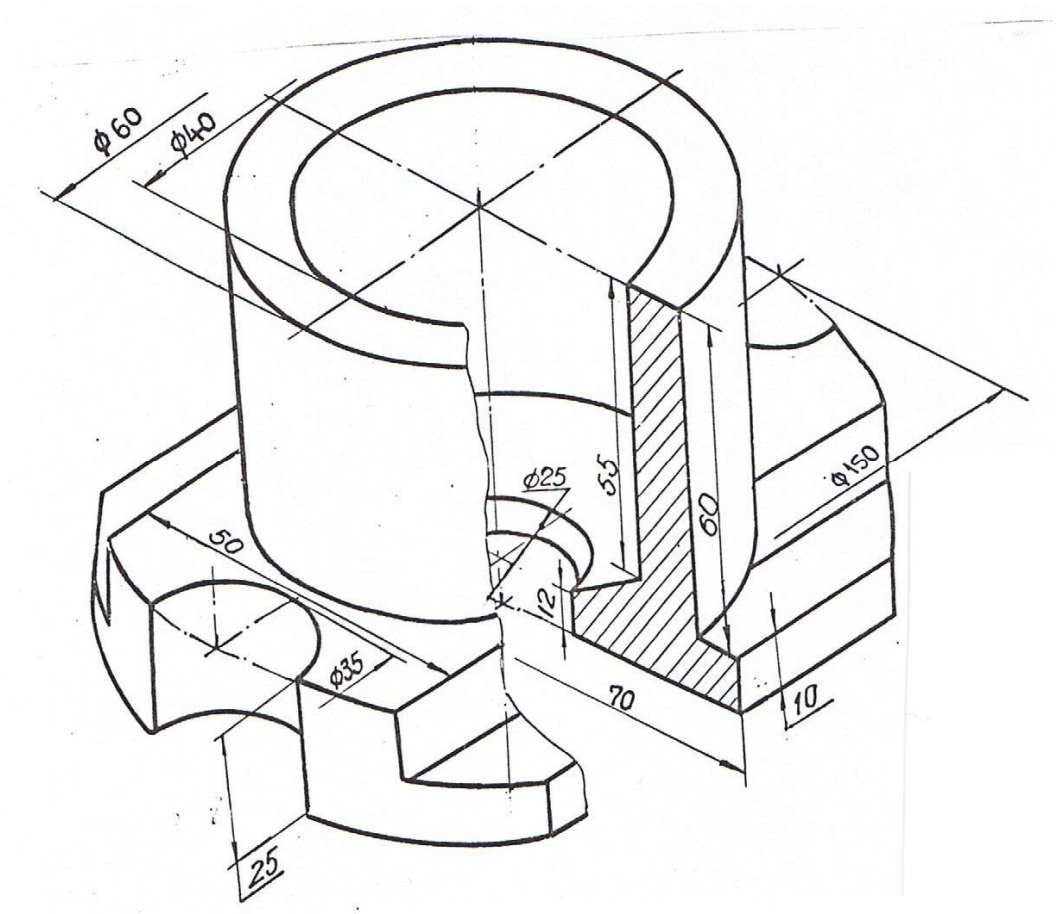
Вариант 2. Вычертить в трех ортогональных проекциях скобу в масштабе 1:1.
Сделать необходимые разрезы.



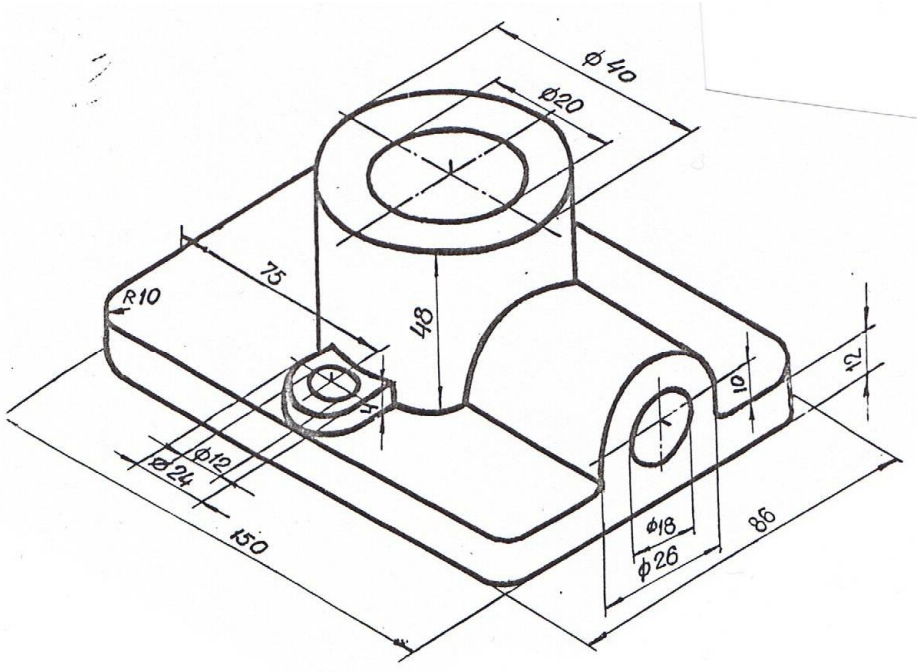
Вариант 3. Вычертить в трех ортогональных проекциях подставку в масштабе 1:1. Сделать необходимый разрез.



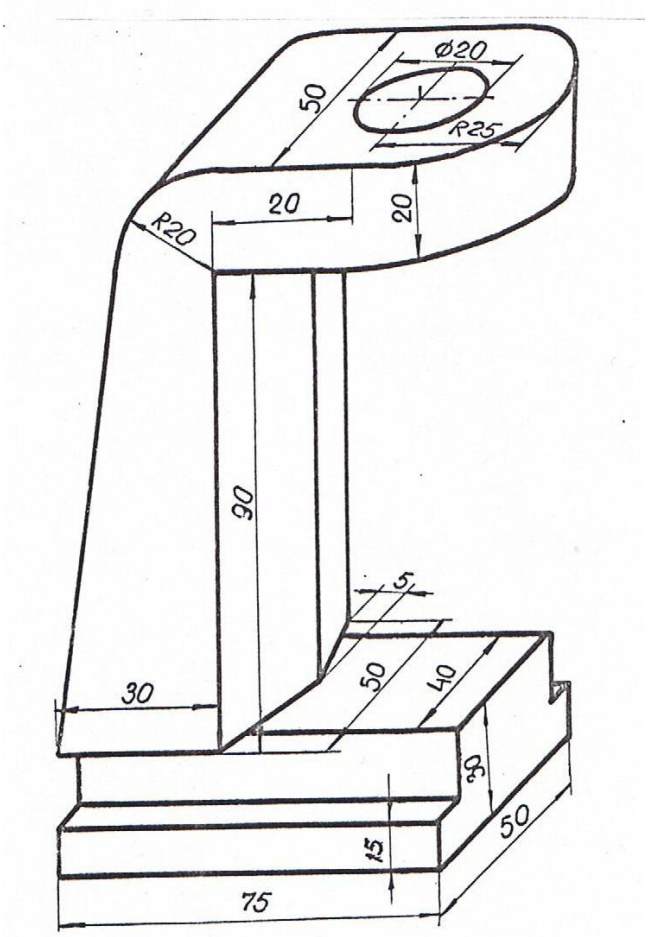
Вариант 4. Вычертить в трех ортогональных проекциях опору в масштабе 1:1. Сделать местные разрезы и горизонтальный разрез.



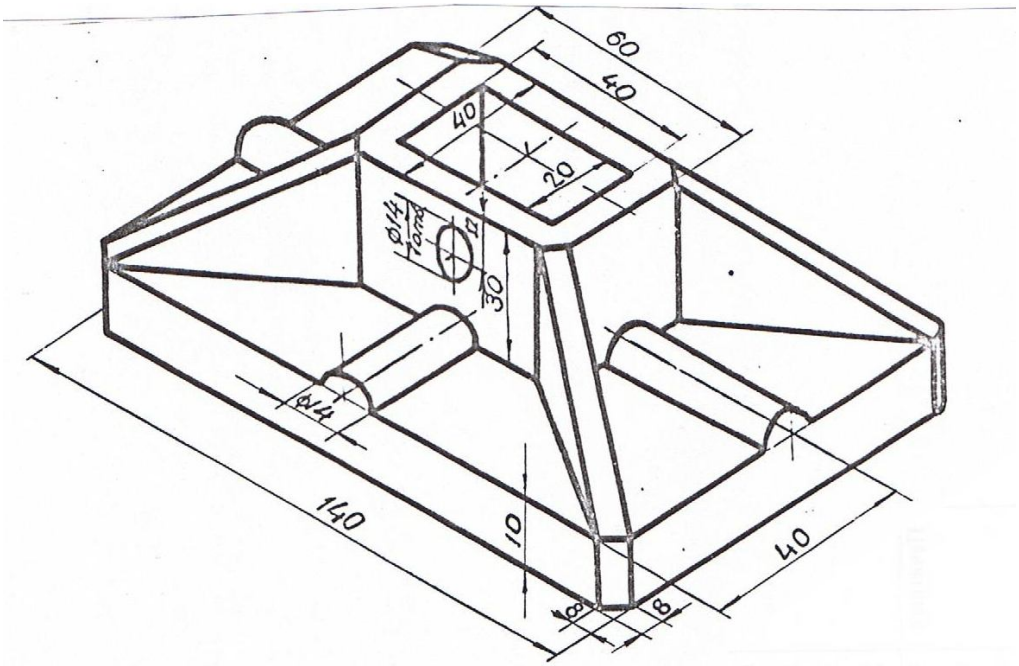
Вариант 5. Вычертить в трех ортогональных проекциях стакан в масштабе 1:1.
Сделать половину фронтального разреза.



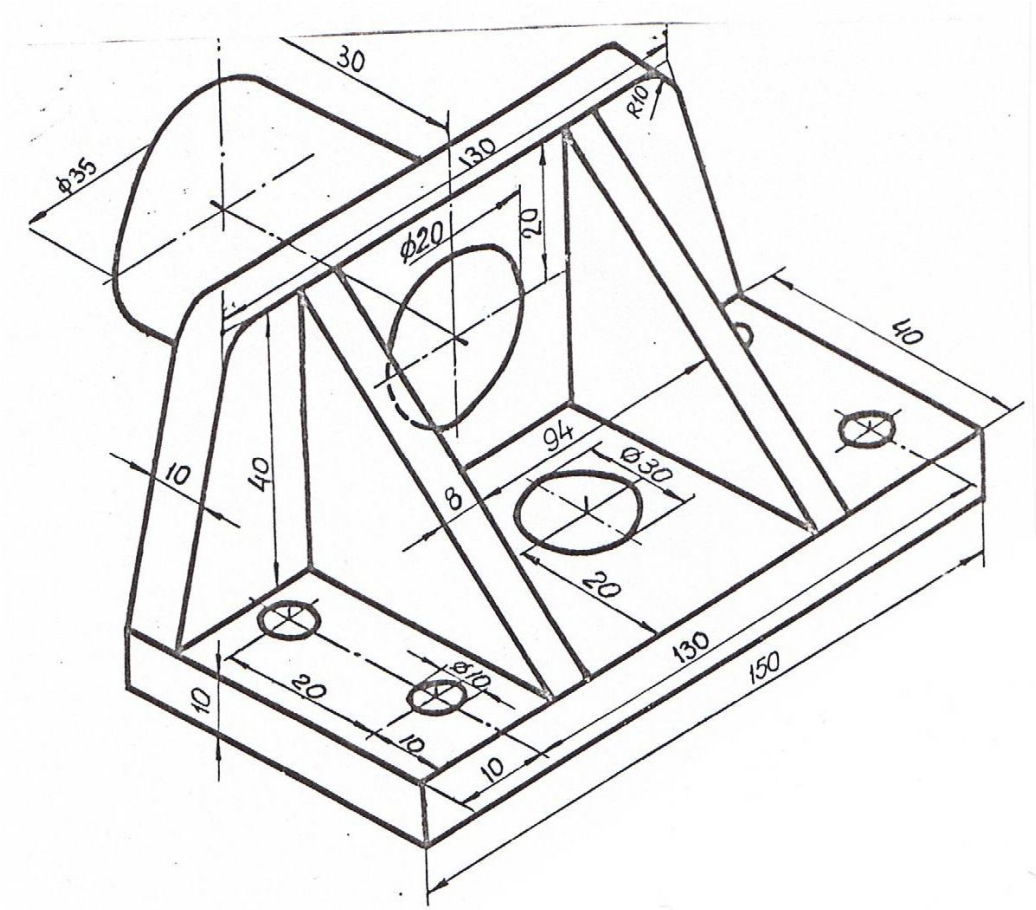
Вариант 6. Вычертить в трех ортогональных проекциях подставку в масштабе 1:1.
Сделать необходимые разрезы.
Примечание. Отверстия ∅20, ∅18 и ∅12 – сквозные.



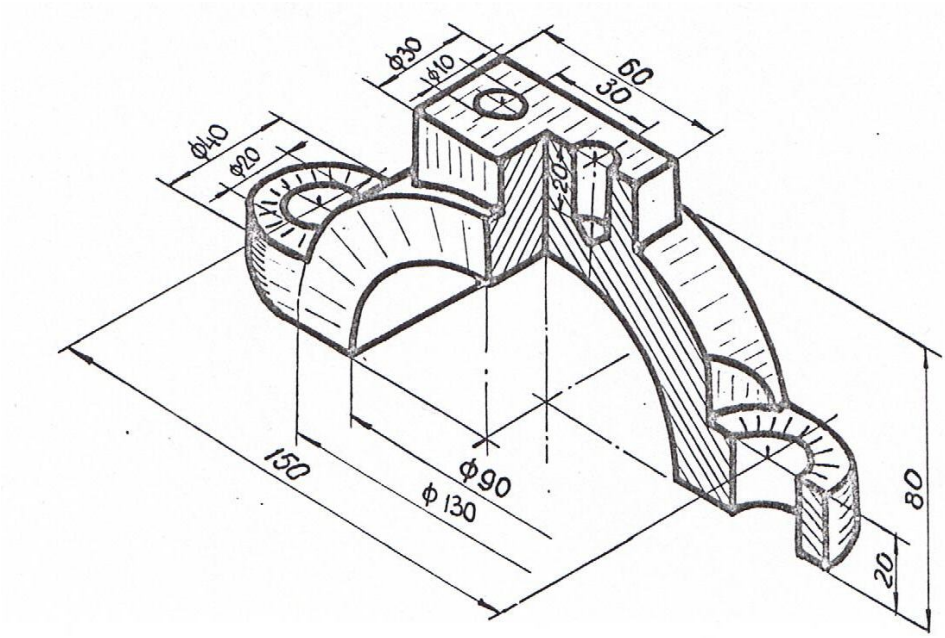
Вариант 7. Вычертить в трех ортогональных проекциях опору в масштабе 1:1.
Сделать необходимый местный разрез и горизонтальный до оси симметрии.



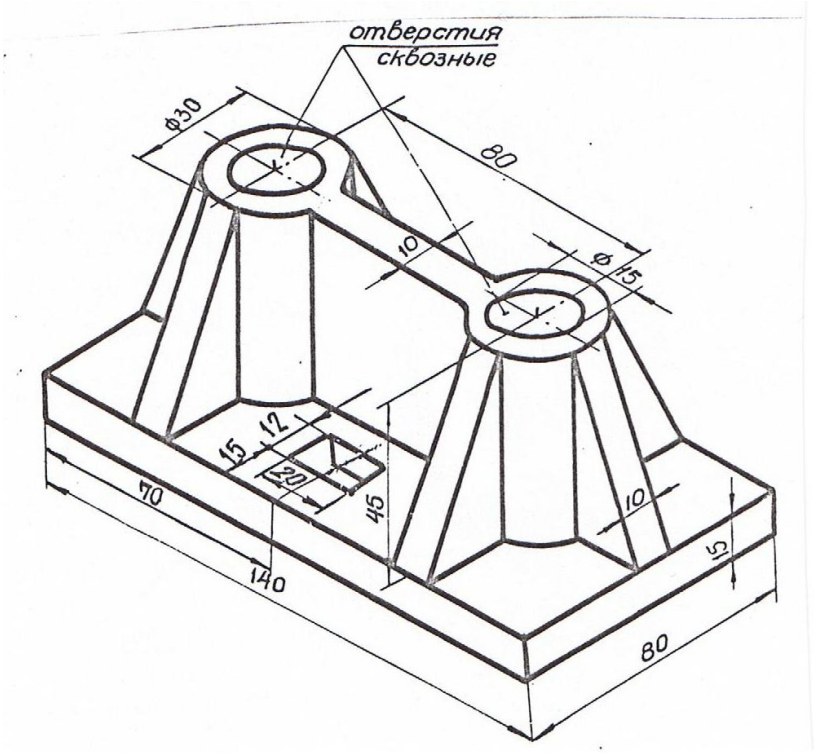
Вариант 8. Вычертить в трех ортогональных проекциях плиту в масштабе 1:1.
Сделать необходимые разрезы.



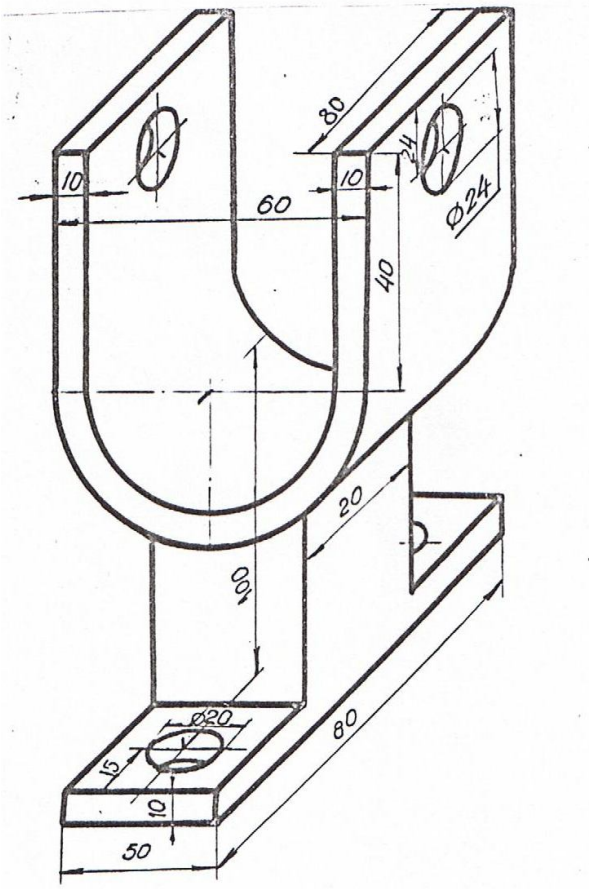
Вариант 9. Вычертить в трех ортогональных проекциях цапфу полую в масштабе 1:1. Сделать необходимые разрезы.



Вариант 10. Вычертить в трех ортогональных проекциях крышку шатуна в масштабе 1:1. Сделать необходимые разрезы.



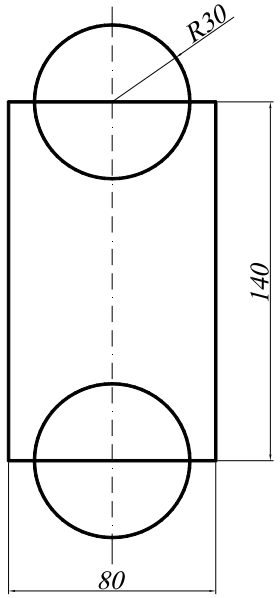
Вариант 11. Вычертить в трех ортогональных проекциях плиту в масштабе 1:1. Сделать необходимые разрезы.



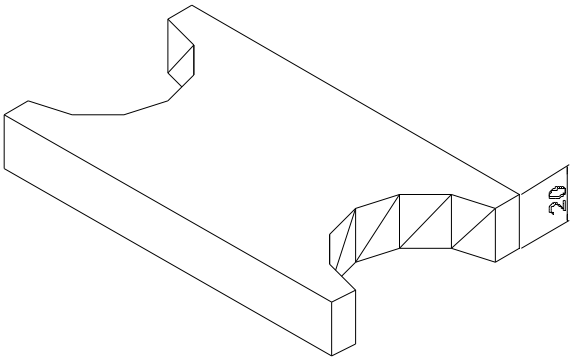
Вариант 12. Вычертить в трех ортогональных проекциях стойку в масштабе 1:1. Сделать необходимые разрезы.

Приложение 5

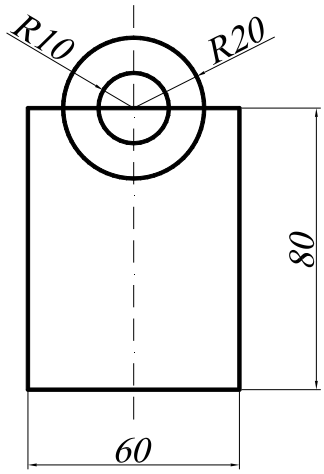
ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ



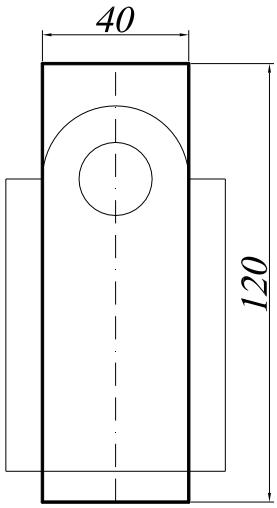
1. Создание области для основания командами ***Polyline*** (Полилиния) и ***Circle*** (Окружность).



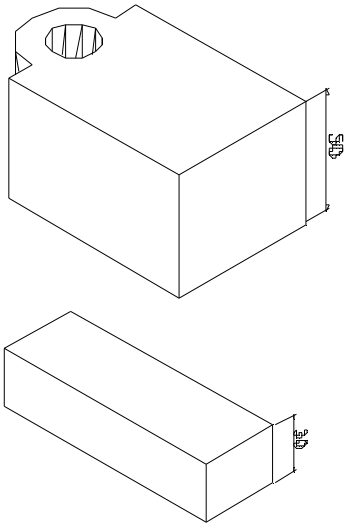
2. Командой ***Extrude*** (Выдавить) «выдавливаем» обе окружности и прямоугольник. Толщина выдавливания 20.
Командой ***Subtract*** (Вычитание) создаем тело путем вычитания цилиндров из параллелепипеда.
Командой ***Hide*** (Скрыть) подавляем невидимые линии.



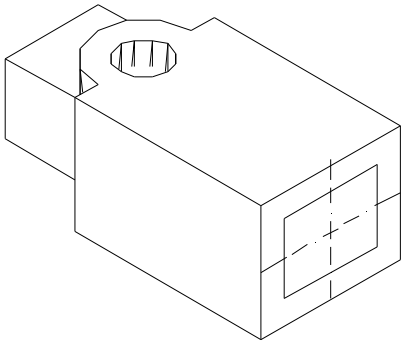
3. Создание области для «башни» командами ***Polyline*** (Полилиния) и ***Circle*** (Окружность).



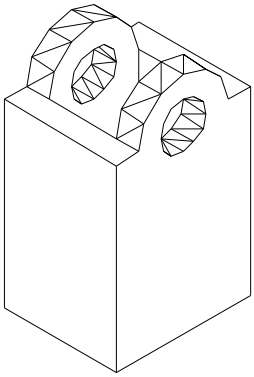
4. Создание области для выреза «башни» командой ***Polyline*** (Полилиния).

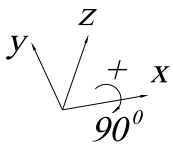


5. Командой ***Extrude*** (Выдавить) «выдавливаем» оба тела. Толщина выдавливания «башни»=50, толщина выдавливания «бруска»=30.
Командой ***Subtract*** (Вычитание) создаем тело «башни» путем вычитания цилиндра из построенного тела

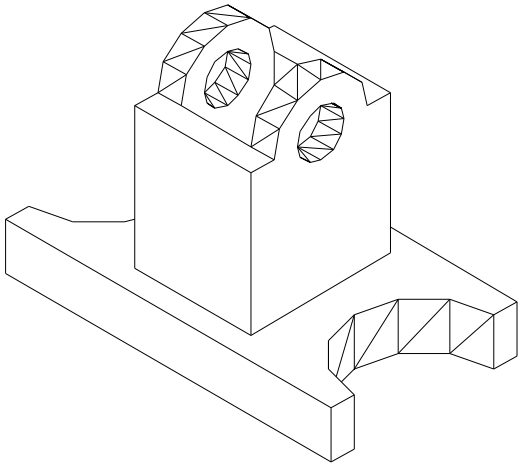


6. Командой ***Move*** (Перемещение) перемещаем «брусок» и центрируем относительно основания «башни».
Командой ***Subtract*** (Вычитание) создаем сквозное отверстие в теле «башни» путем вычитания поверхности «бруска» из тела «башни».





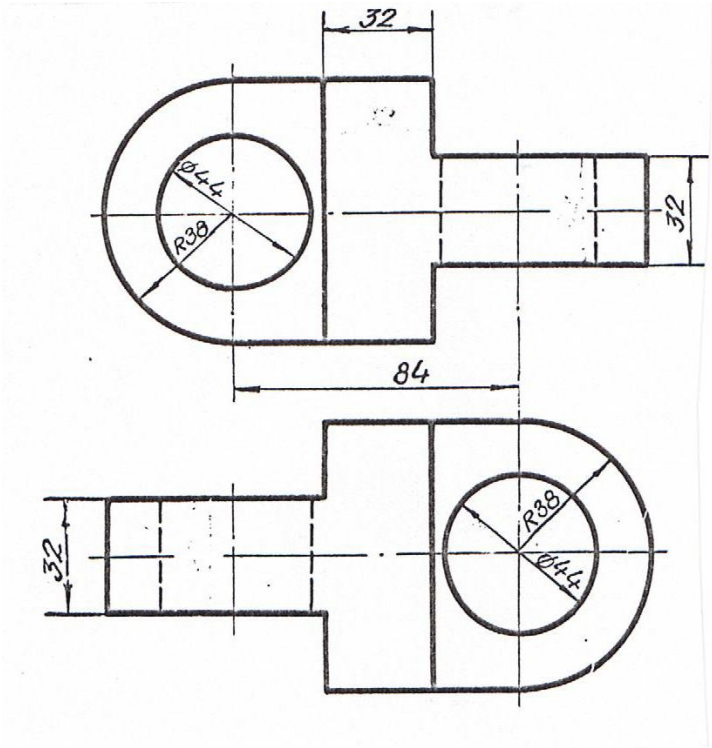
7. Поворачиваем башню относительно оси x на 90^0 (по правилу правой руки), используя команду ***Rotated 3D***, которая вызывается из падающего меню ***Modify*** (Редакировать)→ ***3D Operation*** (3М Операции) → ***Rotated 3D*** (3М Поворот).



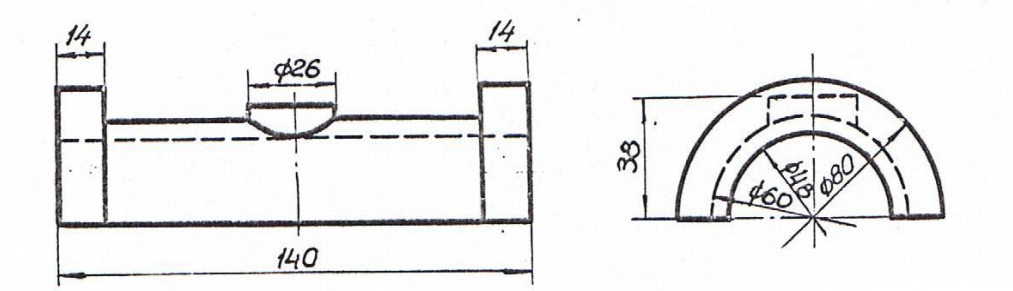
8. Командой ***Move*** (Перемещение) перемещаем «башню» и центрируем относительно построенного основания.
Командой ***Union*** (объединение) объединяем полученные тела.

Приложение 6

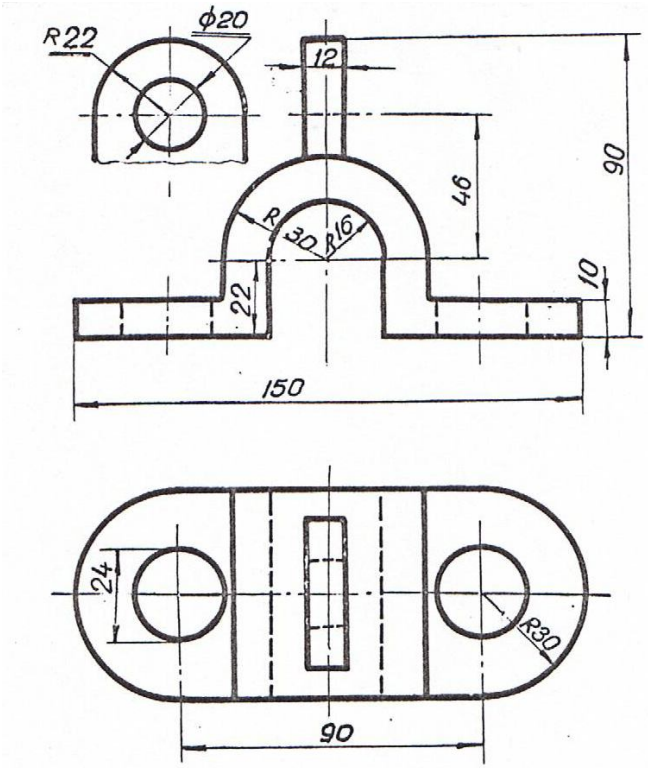
ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ № 4



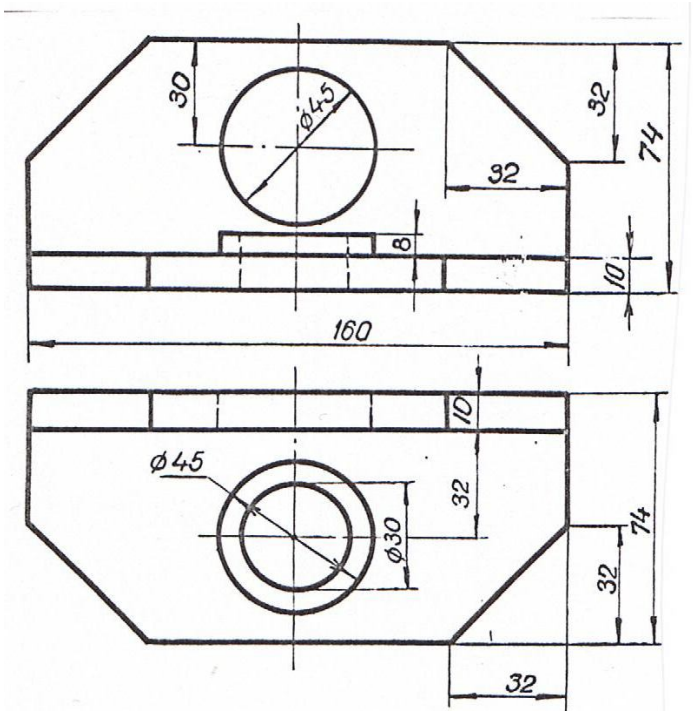
Вариант 1. Вычертить серьгу в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



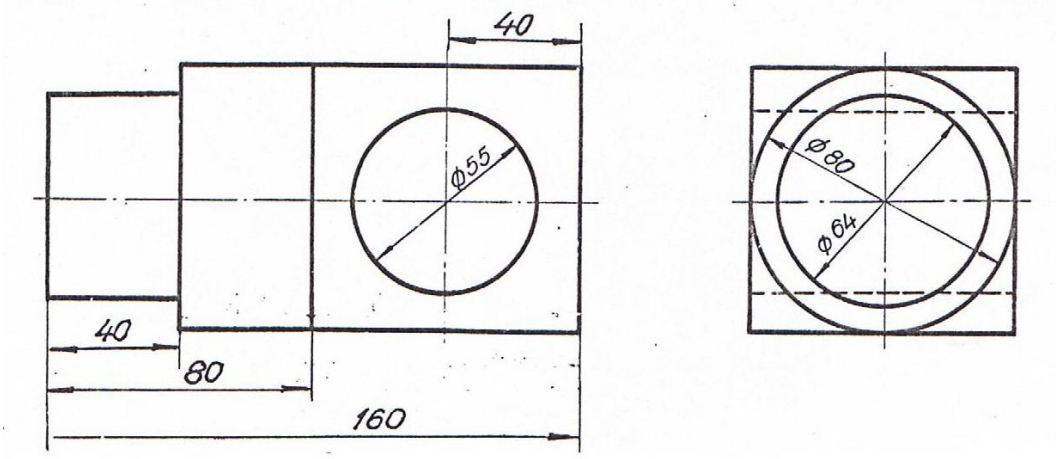
Вариант 2. Вычертить вкладыш подшипника в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



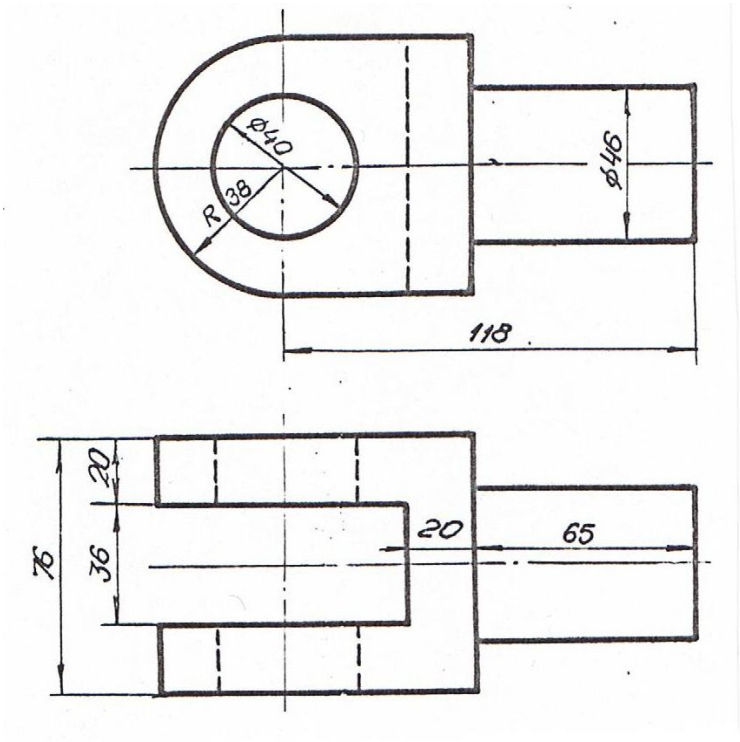
Вариант 3. Вычертить скобу в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



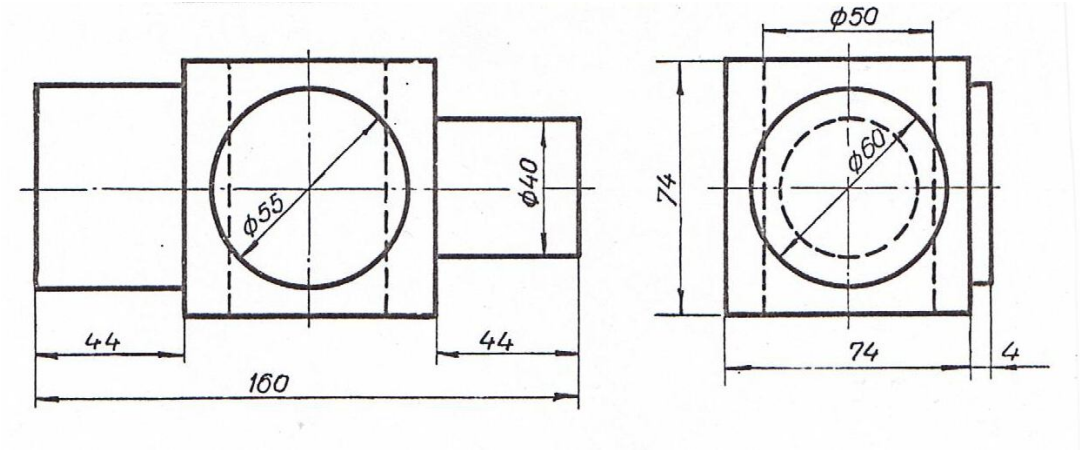
Вариант 4. Вычертить угольник в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



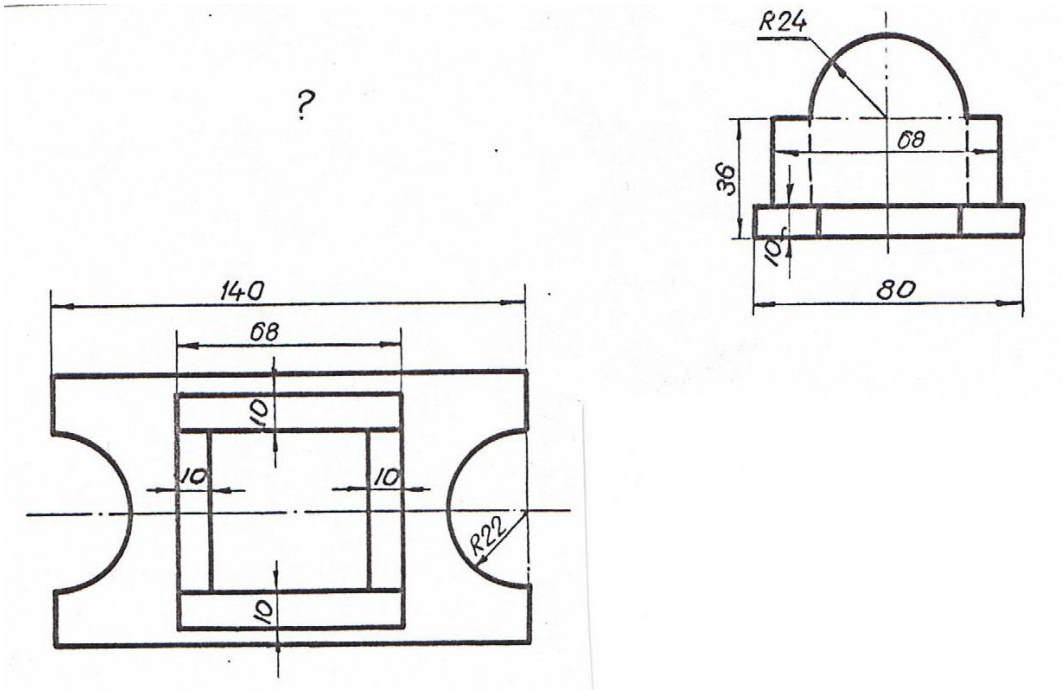
Вариант 5. Вычертить цапфу в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



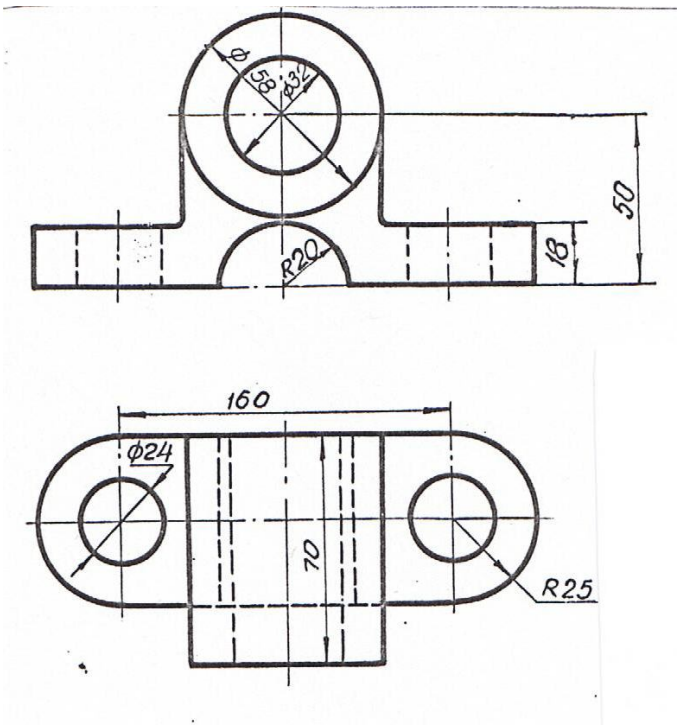
Вариант 6. Вычертить ушко в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



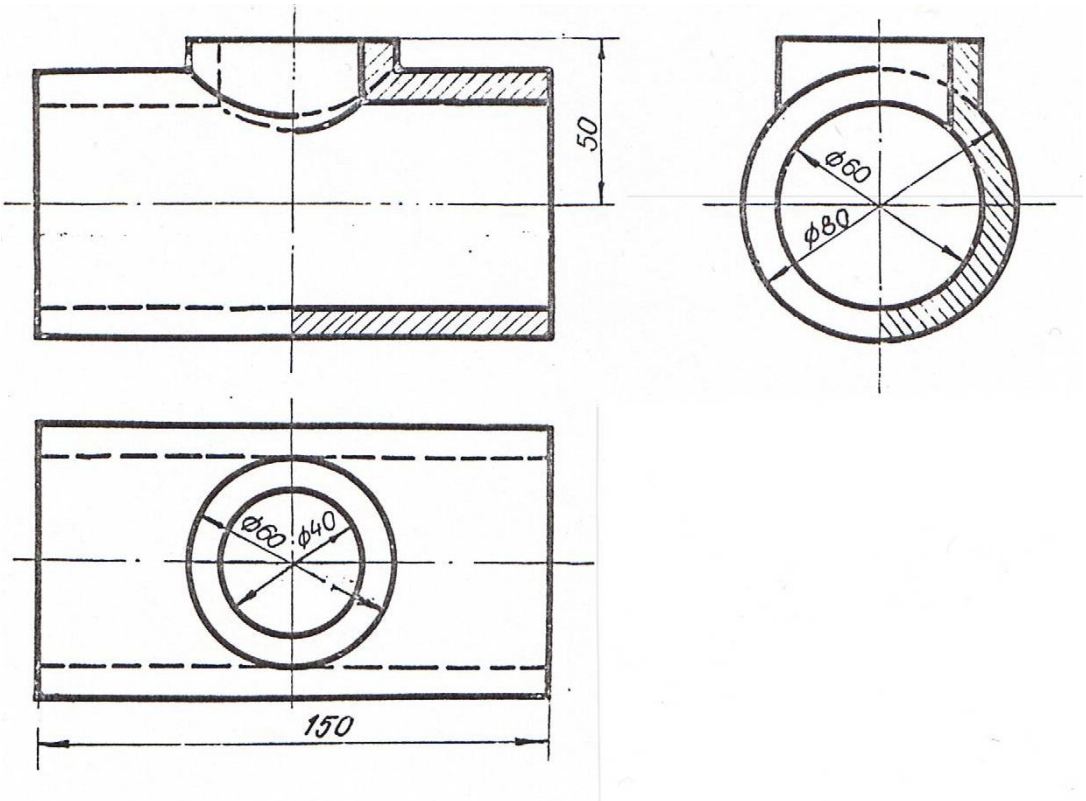
Вариант 7. Вычертить ось в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



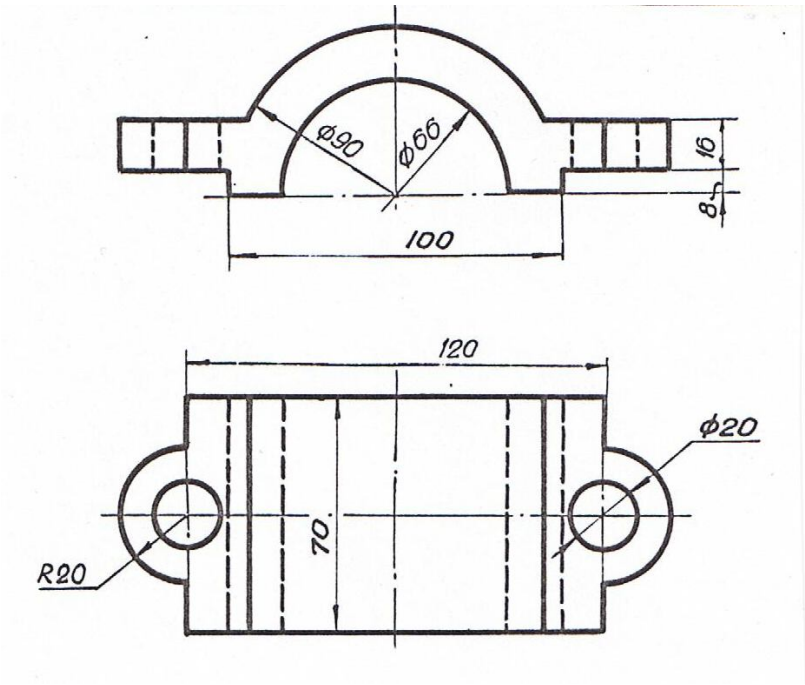
Вариант 8. Вычертить подставку в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



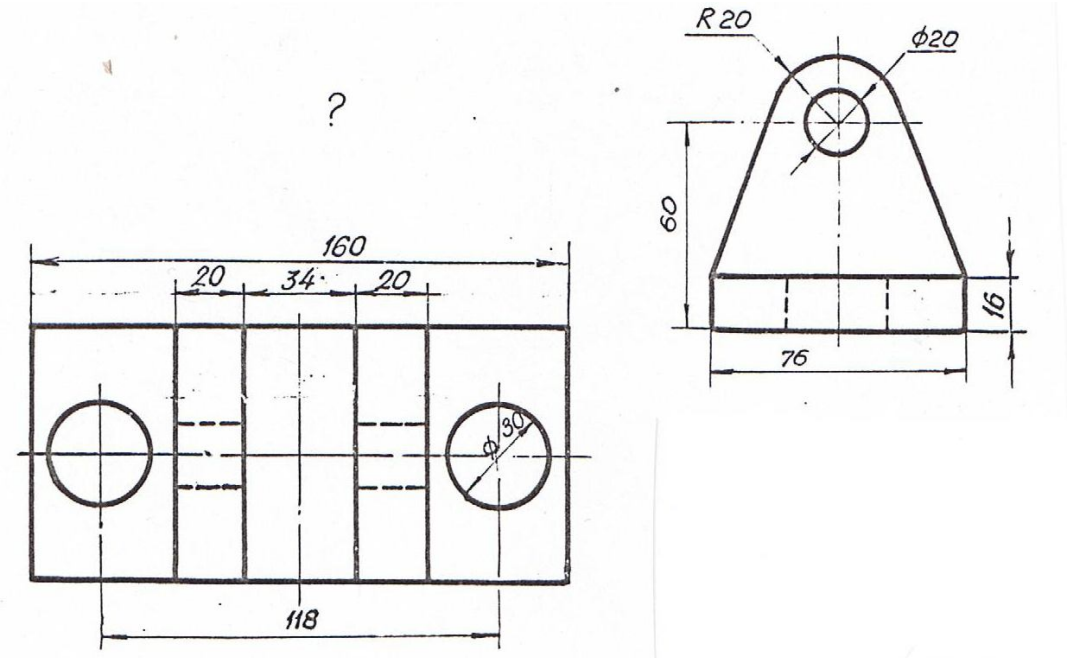
Вариант 9. Вычертить подшипник в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



Вариант 10. Вычертить тройник в изометрии по заданным трем видам в масштабе 1:1.



Вариант 11. Вычертить крышку подшипника в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.



Вариант 12. Вычертить опору в изометрии по заданным двум видам в масштабе 1:1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие……... 3

Глава 1. **ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МНОЖЕСТВА И СИСТЕМЫ КООРДИНАТ**……. 5

1. Множества…….. 5

1.1. Основные понятия теории множеств……..… 5

1.2. Отображения и преобразования…… 7

1.3. Теоретико-множественный подход к задачам на построение…… 10

1.4. Геометрические пространства и их размерность…… 11

1.5. Формирование пространства…… 13

1.6. Приёмы подсчёта параметров…… 14

1.7. Параметрический подход к решению задач начертательной геометрии…… 21

2. Системы координат…… 22

2.1. Прямоугольные декартовы координаты…… 22

2.2. Полярные координаты точки на плоскости……. 23

2.3. Цилиндрические координаты…… 23

2.4.Сферические координаты…… 24

Вопросы для самопроверки…….. 24

Глава 2. **КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**…… 25

1. Запуск системы *AutoCAD*…… 25

2. Вид рабочего окна *AutoCAD*……. 26

3. Падающее меню……. 26

4. Строка состояния…… 27

5. Ввод команд…… 28

6. Панели инструментов……. 28

7. Стандартная панель инструментов *(Standard Toolbar)*…….. 28
8. Панель инструментов Object Properties *(Свойства объекта)*…. 30
9. Графические примитивы…….…….. 32
10. Ввод координат точки…….…… 33
11. Панель инструментов *Draw* (Рисовать)…… 34
12. Построение геометрических примитивов…….. 34
12.1. Точка……. 35
12.2. Построение линий…… 35
12.2.1. Отрезок……. 35
12.2.2. Прямая и луч…… 37
12.2.3. Полилиния……. 38
12.2.4. Сплайн……... 41
12.3. Построение многоугольников…… 42
12.3.1. Многоугольник…… 42
12.3.2. Прямоугольник……. 43
12.4. Построение окружностей, эллипсов и их дуг…… 45
12.4.1. Окружность…… 45
12.4.2. Эллипс…… 49
12.4.3. Дуга окружности…… 50
13. Текстовые стили…… 52
13.1. Однострочный текст…… 53
13.2. Многострочный текст……. 57
14. Блок…… 58
14.1. Создание блоков……... 58
14.2. Вставка блока…… 59
15. Создание замкнутых объектов…….. 61
16. Штриховка……. 62
17. Панель инструментов *Object Snap* (Объектная привязка)…… 65
18. Панель инструментов *Modify* (Изменить или редактировать) 67
18.1. Удаление и восстановление объектов……. 68
18.2. Копирование объектов……. 69
18.3. Зеркальное отображение объектов…….. 70
18.4. Построение подобных примитивов……. 71
18.5. Размножение объектов массивом…….. 72

18.6. Перемещение объектов…… 76
18.7. Поворот объектов…… 77
18.8. Масштабирование объектов…… 78
18.9. Растягивание объектов……. 79
18.10. Подрезание объектов……. 80
18.11. Удлинение объектов…… 81
18.12. Разбиение объектов на части……. 82
18.13. Вычерчивание фасок…… 83
18.14. Построение сопряжений углов…….. 84
19. Редактирование с помощью маркеров *Grips* («Ручки»)…….. 86
20. Диспетчер свойств объектов……. 89
21. Панель инструментов *Dimension* (Измерение)…… 89
21.1. Линейные размеры…… 90
21.2. Параллельные размеры…… 92
21.3. Базовые размеры…….. 92
21.4. Размерная цепь……. 93
21.5. Радиальные размеры…… 94
21.6. Угловые размеры…… 94
21.7. Координатные размеры……. 95
21.8. Выноски и пояснительные надписи на чертеже…… 95
21.9. Быстрое нанесение размеров…….. 96
21.10. Нанесение меток центра окружности или дуги…….. 97
21.11. Редактирование размерных стилей…… 98
22. Зумирование…….. 101
23. Панорамирование……. 102
Вопросы для самопроверки…….. 102

Глава 3. **ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**……. 103

1. Общие сведения…….. 103
2. Задание трехмерных координат…….. 103
3. Задание пользовательской системы координат……. 104
4. Пространство модели и пространство листа……. 107
5. Видовые экраны…… 108

5.1. Создание неперекрывающихся видовых экранов……. 108
6. Установка видов на графическом поле……. 109
6.1. Установка направления взгляда…… 109
6.2. Задание направления взгляда с помощью диалогового окна 111
6.3. Установка плана изображения……... 112
6.4. Установка ортогональных и аксонометрических видов…… 113
6.5. Интерактивное управление точкой взгляда…… 113
6.6. Динамическое вращение трехмерной модели…… 114
7. Моделирование каркасов…… 114
7.1. Трехмерная полилиния…….. 115
7.2. Средства редактирования трехмерной полилинии……. 115
8. Твердотельное моделирование……. 116
9. Стандартные тела…… 117
9.1. Параллелепипед……. 117
9.2. Клин…… 118
9.3. Сфера…… 118
9.4. Конус…….. 119
9.5. Цилиндр……. 120
9.6. Тор…….. 121
10. Тела пользователя……. 122
10.1. Выдавленное тело…… 122
10.2. Тело вращения…… 124
11. Тела, созданные комбинированием нескольких тел……. 125
11.1. Объединение объектов…… 126
11.2. Вычитание объектов…….. 126
11.3. Пересечение объектов…….. 127
12. Общие средства редактирования трехмерных объектов…….. 128
12.1. Поворот вокруг оси……. 128
12.2. Зеркальное отображение относительно плоскости (плоскостная симметрия)……. 129
12.3. Размножение трехмерным массивом…….. 130
12.4. Вычерчивание фасок трехмерных тел…… 131
12.5. Построение сопряжений граней…….. 133
12.6. Построение сечений……. 134

12.7. Построение разрезов…… 134
13. Редактирование граней, ребер тел…… 135
13.1. Режим редактирования граней твердотельного объекта…. 136
13.2. Режим редактирования ребер твердотельного объекта……. 140
13.3. Режим редактирования общих свойств
твердотельного объекта……. 141
14. Пример построения трехмерной модели……. 142
15. Перекрывающиеся видовые экраны. Создание ортогональных проекций……... 144
16. Визуализация трехмерных моделей…… 147
16.1. Удаление невидимых линий…… 148
16.2. Раскрашивание трехмерной модели…….. 148
16.3. Тонирование изображений трехмерных объектов…….. 149
16.4. Включение фона в изображение сцены……. 150
16.5. Настройка освещения……. 151
16.6. Тени…… 152
16.7. Работа с материалами…….. 153
Вопросы для самопроверки…….. 154
Заключение…… 155
Список литературы……. 156
Приложения……. 157
Приложение 1. Пример выполнения рабочего чертежа детали…….. 157
Приложение 2. Задание для выполнения графической работы № 1…….. 158
Приложение 3. Задание для выполнения графической работы № 2…….. 164
Приложение 4. Задание для выполнения графической работы № 3…….. 170
Приложение 5. Пример построения твердотельной модели…… 176
Приложение 6. Задание для выполнения графической работы № 4…….. 178

Учебное издание

Шангина Елена Игоревна

КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Учебное пособие

Редактор издательства Л. В. Устьянцева
Компьютерная верстка и графика автора

Подписано в печать 01.02.06. Формат 60x84-1/8. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 23,75. Уч.-изд. л. 11,25. Тираж 200 экз. Заказ № .

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

**Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»**

И. Б. Белоносова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА.

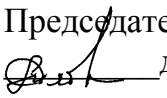
РЕЗЬБА

Методическое пособие
по теме «Условности машиностроительного черчения»
для студентов всех специальностей»

Екатеринбург – 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
инженерно-экономического
факультета
«27» декабря 2011 г.
Председатель комиссии

доц. И. А. Тяботов

И. Б. Белоносова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА.

РЕЗЬБА

Методическое пособие
по теме «Условности машиностроительного черчения»
для студентов всех специальностей»

3-е издание, исправленное и дополненное

Издание УГГУ Екатеринбург, 2012
Б 43

Рецензенты: *Н. Н. Черемных*, д. т. н., проф. Уральского государственного лесотехнического университета,
Л. Г. Тимофеева, доцент Уральского государственного лесотехнического университета.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры инженерной графики 06.07.2010 года (протокол №5) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Белоносова И. Б.

Б 43 ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА. РЕЗЬБА. Методическое пособие по теме «Условности машиностроительного черчения» для студентов всех специальностей. 3-е издание, исправленное и дополненное / И. Б. Белоносова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. – 38 с.

В методическом пособии содержатся исходные данные для индивидуальных заданий, примеры их выполнения, а также основные сведения о резьбах, применяемых в машиностроении, параметрах и технологических элементах резьб в соответствии с Государственными стандартами.

Пособие предназначено для студентов всех специальностей.

© Белоносова И. Б., 1994, 2002, 2012
© Уральская государственная горно-геологическая академия 1994, 2002.
© Уральский государственный горный университет, 2012

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении. Они обладают такими достоинствами, как универсальность, высокая надежность, способность воспринимать большие нагрузки, удобство сборки и разборки, простота изготовления.

1. РЕЗЬБА. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ГОСТ 11708-82)

Р е з ь б а – поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности.

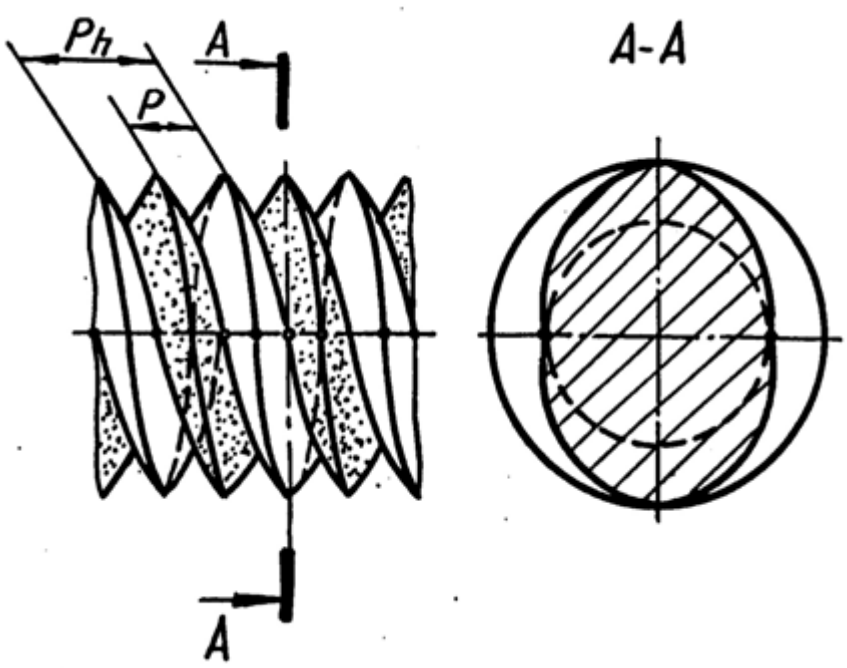


Рис. 1

Резьбы классифицируются по следующим признакам:

1. В зависимости от формы поверхности, на которой нарезана резьба, они подразделяются на цилиндрические и конические.

2. В зависимости от расположения резьбы на поверхности стержня или отверстия они подразделяются на внешние и внутренние.

3. В зависимости от формы профиля различают резьбы треугольного, прямоугольного, круглого и других профилей.

4. По эксплуатационному назначению резьбы делятся на крепежные (метрические, дюймовые), крепежно-уплотнительные (трубные, конические), ходовые (трапецеидальные, упорные, прямоугольные, круглые), специальные и др.

5. В зависимости от направления винтовой поверхности различают правые и левые резьбы.

6. По числу заходов резьбы подразделяются на однозаходные и многозаходные (двух-трехзаходные) и др.

Все резьбы разделяют на следующие группы:

- стандартизованные – резьбы с установленными стандартами параметрами: профилем, шагом, диаметром;
- нестандартизованные или специальные – резьбы, параметры которых не соответствуют стандартизованным.

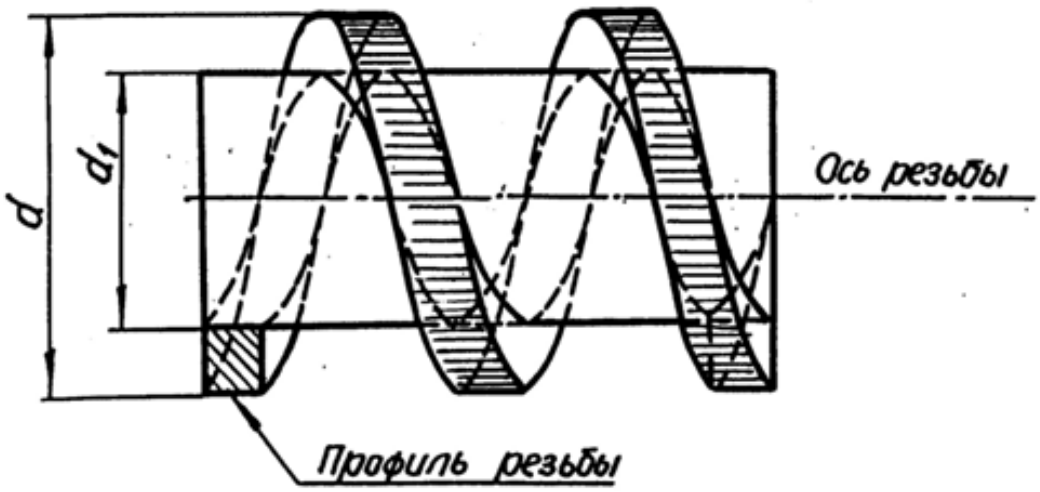


Рис. 2

Основные элементы и параметры резьб имеют следующие определения.

Ось резьбы – прямая, относительно которой происходит винтовое движение контура, образующего резьбу (рис. 2).

Профиль резьбы – контур сечения резьбы плоскостью, проходящей через ее ось. Резьбу называют по форме ее профиля: треугольной, прямоугольной, трапецеидальной и т. п.

Левая резьба – образована контуром, вращающимся против часовой стрелки и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя. К обозначению левых резьб добавляется «*LH*».

Правая резьба – образована контуром, вращающимся по часовой стрелке и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя.

Шаг резьбы (***P***) **–** расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы (рис. 1).

Ход резьбы (***P*** $_h$) - расстояние между ближайшими одноименными и боковыми сторонами профиля, принадлежащими одной и той же винтовой поверхности, в направлении, параллельном оси резьбы.

Наружный диаметр резьбы (d – для болта, D – для гайки) – диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы (рис. 2).

Внутренний диаметр резьбы (d_1 – для болта, D_1 – для гайки) – диаметр воображаемого цилиндра, описанного во впадины наружной резьбы или в вершины внутренней резьбы.

2. ТИПЫ РЕЗЬБ

В машино- и приборостроении применяются стандартные резьбы различных типов.

2.1. Метрическая резьба

Профиль метрической резьбы представляет собой равнобедренный треугольник с углом при вершине 60°. Вершины и впадины витков имеют срез, благодаря которому между вершинами витков болта и впадинами гайки оставляется некоторый зазор, который предотвращает заклинивание.

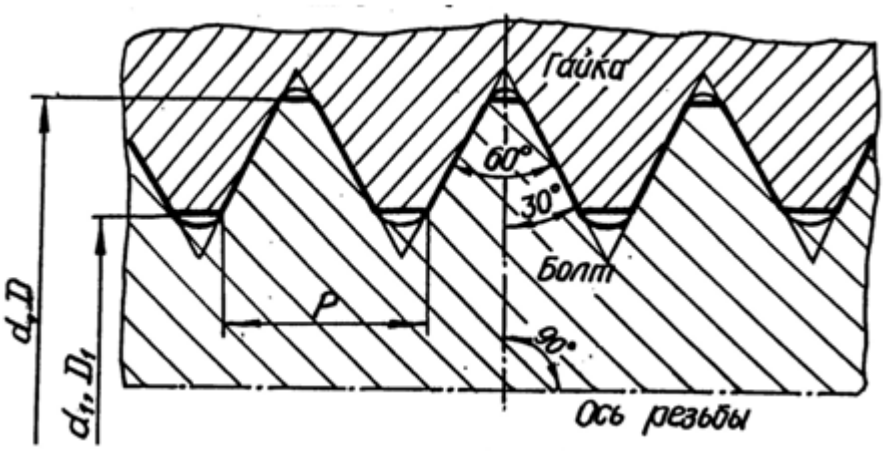


Рис. 3

Размеры метрической резьбы для диаметров от 1 до 600 мм установлены по ГОСТ 8724-81 и 9150-81. Диаметры резьб разделены на три ряда, а шаги на крупные и мелкие. Крупным называют наибольший из шагов для номинального размера диаметра резьбы. Метрические резьбы с крупным шагом установлены для диаметров от 1 до 63 мм; метрические резьбы с мелкими шагами - для диаметров от 1 до 600 мм.

Резьба с крупным шагом обозначается прописной буквой *М* и номинальным диаметром, например: *М*24, *М*36.

Резьба с мелким шагом обозначается прописной буквой *М*, номинальным диаметром и шагом, например: *М*24×2, *М*36×2.

Резьба левая обозначается буквами *LH*, например: *М*24 *LH*, *М*24×2*LH*.

Резьбы многозаходные обозначаются буквой *М*, номинальным диаметром, числовым значением хода и в скобках буквой *Р*, и числовым значением шага, например: трехзаходная резьба с шагом 2 мм *М*36×3(*Р*2), для левой резьбы *М*36×3(*Р*2)*LH*.

Согласно ГОСТ 16093-81 система допусков резьб общего назначения предусматривает допуски диаметров резьб, устанавливаемые степенями точности:

для наружного диаметра наружной резьбы (болта) – 4, 6, 8;

для внутреннего диаметра внутренней резьбы (гайки) – 4, 5, 6, 7, 8;

Положение полей допусков диаметров резьбы имеют следующие обозначения:

для резьбы болтов – *d*, *e*, *f*, *d*, *h*;

для резьбы гаек – *E*, *F*, *G*, *H*.

Примеры обозначения резьбы номинальным диаметром 20 мм с обозначением полей допусков:

*M*20-6*g* - с крупным шагом, наружная;

*M*20-6*H* - с крупным шагом, внутренняя;

*M*20×2-6*g* - с мелким шагом, внутренняя;

*M*20×2*LH*-6*g* - с мелким шагом, наружная, левая.

Посадка обозначается дробью: числитель – поле допуска внутренней резьбы, знаменатель - поле допуска наружной, например: *M*20×2*LH*-6*H*/6*g*.

Для покупных крепежных изделий рекомендуется применять следующие значения полей допуска: для гайки – 6*H*, 7*H* и для болта - 6*g*, 8*g*.

2.2. Трубная цилиндрическая резьба

Трубную цилиндрическую резьбу (ГОСТ 6357-81) применяют в трубопроводах, а также в соединениях внутренней цилиндрической резьбы с наружной конической резьбой.

Профилем трубной резьбы (рис. 4) является равнобедренный треугольник с углом при вершине 55° и закругленными вершинами и впадинами. Профили наружной и внутренней резьбы совпадают, что обеспечивает герметичность в соединениях этой резьбы.

Характерные особенности трубной цилиндрической резьбы:

- резьба имеет более мелкий шаг и меньшую высоту профиля по сравнению с дюймовой цилиндрической резьбой;

- фактический наружный диаметр резьбы большего его номинального значения примерно на двойную толщину стенок трубы;

- номинальный наружный диаметр резьбы условно принимают равным внутреннему диаметру трубы, на которой нарезается резьба (рис. 5).

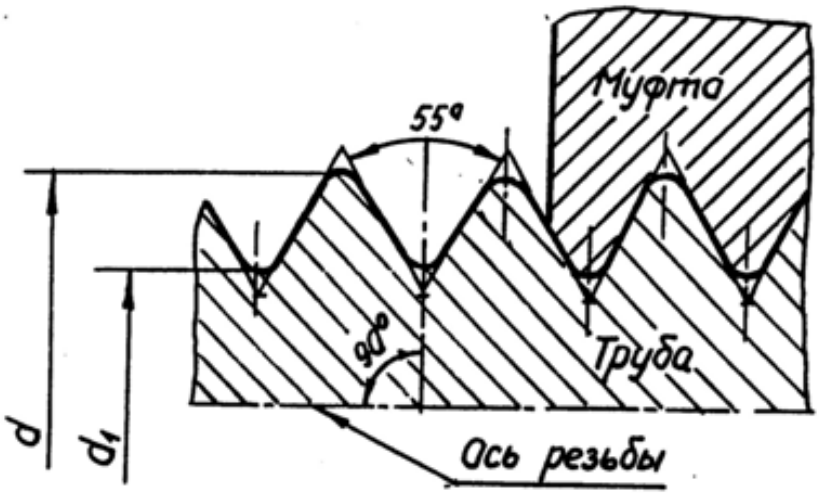


Рис. 4

Трубную резьбу условно обозначают в дюймах (1″ =25,4 мм), указывающих (приближенно) величину диаметра отверстия трубы, который называют диаметром условного прохода трубы и обозначают D_y.

Трубную цилиндрическую резьбу нарезают на трубах до 6″. Трубы свыше 6″ сваривают.

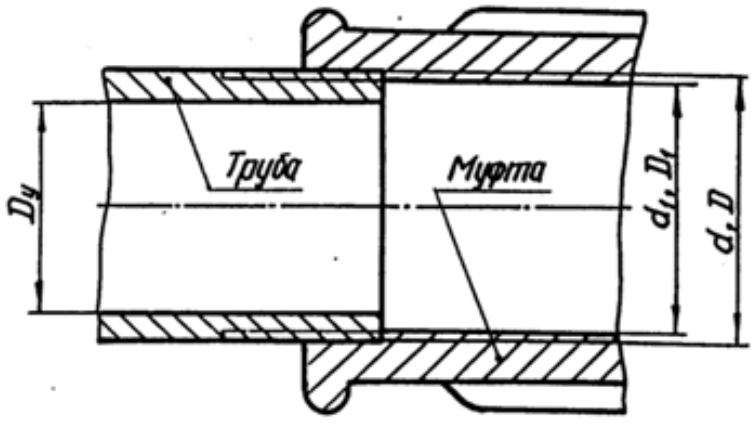


Рис. 5

Обозначение трубной цилиндрической резьбы по ГОСТ 6357-81 состоит из буквы G, номинального размера резьбы в дюймах и класса точности изготовления резьбы. Для трубной цилиндрической резьбы установлены два класса точности – А и В., например:

- резьба класса точности А: G1 – А;

- резьба левая (*LH*) класса точности *B*: *G*3*LH* – *B*;

- резьбовое соединение при классах точности внутренней резьбы *A*, наружной *B*: *G*3 – А/*B*.

2.3. Трапецеидальная резьба

Трапецеидальная резьба по ГОСТ 9484-81 служит для передачи движений и усилий. Трапецеидальная резьба применима для диаметров от 10 до 640 мм и может иметь шаги от 2 до 48 мм. Предусмотрено выполнение резьб одного и того же диаметра, но с различными шагами.

Трапецеидальная резьба имет профиль в виде равнобочной трепеции с углом между ее боковыми сторонами, равными 30° (рис. 6).

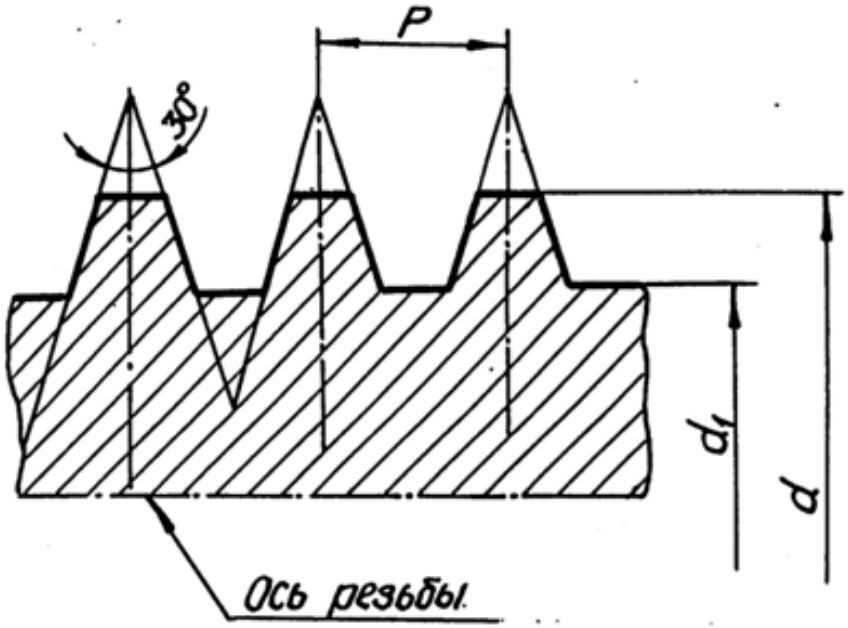


Рис. 6

Симметричный профиль резьбы позволяет применять ее для риверсивных винтовых механизмов. Одинаковые зазоры по наружному и внутреннему диаметрам создают благоприятные условия для смазывания. Трапецеидальная резьба может быть однозаходной и многозаходной, правой и левой.

Номинальные размеры трапецеидальной однозаходной резьбы устанавливает ГОСТ 24738-81.

Условное обозначение однозаходной трапецеидальной резьбы включает буквы *Tr*, номинальный диаметр и шаг, а также буквы *LH* для левой резьбы, например, *Tr*40×3*LH*.

Основные размеры и допуски резьбы трапецеидальной многозаходной устанавливает ГОСТ 24739-81.

Условное обозначение трапецеидальной многозаходной резьбы содержит буквы *Tr*, номинальный диаметр, числовое значение хода и в скобках буква Р с числовым значением шага, например, *Tr*20×4(P2)*LH*.

В производственных чертежах в обозначение резьбы обязательно включают обозначение поля допуска, состоящее из цифры, показывающей степень точности среднего диаметра резьбы и буквы латинского алфавита, обозначающей основное отклонение этого диаметра, например, *Tr*20×4(P2)*LH*-8*H*/8*e*.

2.4. Упорная резьба

Упорная резьба обладает высокой прочностью и высоким КПД. Она применяется в грузовых винтах для передачи больших усилий, действующих в одном направлении в мощных домкратах, прессах и т. д.

Профиль резьбы (рис. 7) представляет собой трапецию, одна сторона которой является рабочей стороной профиля, и ее положение определяется углом наклона 3°. Другая сторона трапеции (нерабочая сторона профиля) имеет угол наклона 30°.

Профиль и параметры упорной резьбы предусматривает ГОСТ 10177-82. Для упорной резьбы предусмотрены номинальные диаметры резьбы от 10 до

640 мм, резьба может выполняться с разными шагами при одном и том же диаметре.

На чертеже упорная резьбы обозначается буквой S, номинальным диаметром и шагом, например: резьба упорная левая, имеющая номинальный диаметр 80 мм и шаг 16 мм – *S*80×16 *LH*.

В прессостроении применяется также упорная резьба, профиль которой представляет собой неравнобочную трапецию с углом рабочей стороны 0° и нерабочей – 45°. Усиленная упорная резьба предусмотрена для диаметров от 80 до 2000 мм.

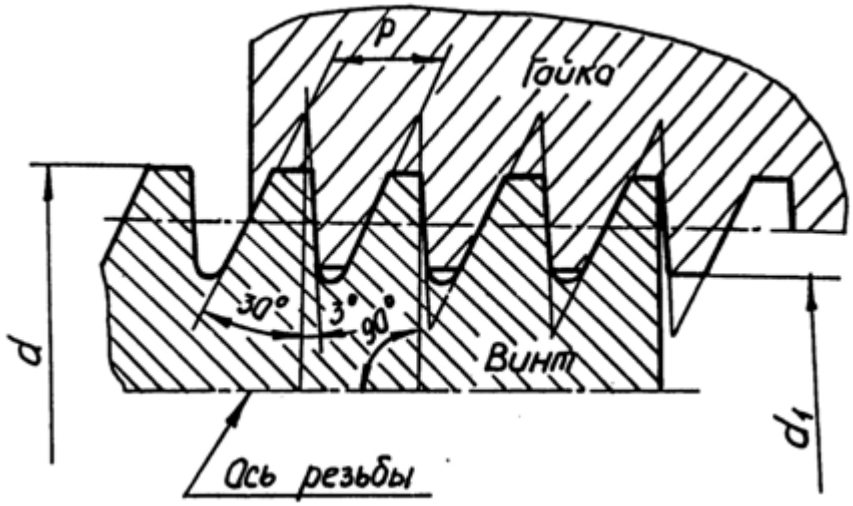


Рис. 7

2.5. Прямоугольная и квадратная резьбы

Прямоугольная и квадратная резьбы имеют высокий КПД и дают большой выигрыш в силе, поэтому они применяются для передачи осевых усилий в грузовых винтах и движения в ходовых винтах.

Прямоугольная и квадратная резьбы не стандартизованы, так как имеют следующие недостатки:

- в соединении (типа «болт – гайка») трудно устроить биение;

- они обладают прочностью меньшей, чем трапецеидальная резьба, так как основание витка у трапецеидальной резьбы при одном и том же шаге шире, чем у прямоугольной или квадратной резьб;

- их труднее изготовить, чем трапецеидальную.

В соответственных соединениях эти резьбы заменены трапецеидальными.

При изображении этих резьб обязательно указывают ее профиль и размеры (рис. 8). Диаметр резьбы предпочтительно выбирать из ряда номинальных диаметров метрической резьбы.

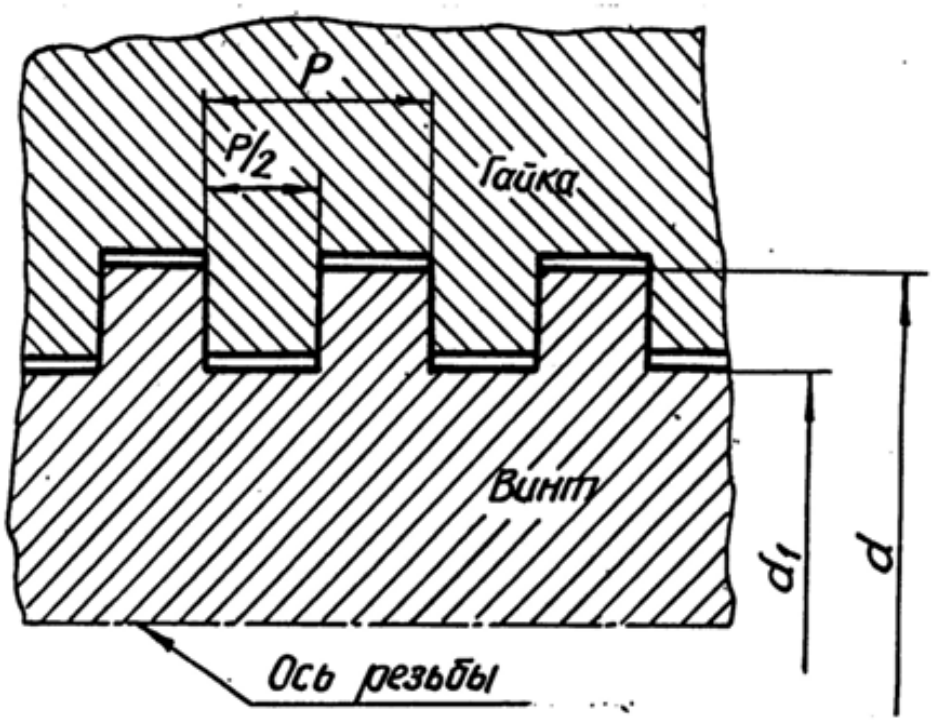


Рис.8

3. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗЬБЫ

Все резьбы, независимо от их типа, изображаются на чертежах условно в соответствии с ГОСТ 2.311-68.

Основная условность заключается в проведении сплошной толстой линии вместо выступов резьбы и тонкой сплошной линии вместо впадин; витки резьбы не изображаются. Границу резьбы упрощенно изображают прямой, перпендикулярной к оси изображения; эта прямая, если она видимая, выполняется сплошной толстой линией.

3.1. Изображение наружной резьбы

Изображение резьбы содержит линии, соответствующие: оси резьбы, наружному и внутреннему диаметрам резьбы и границе резьбы. Резьбу на стержне изображают сплошными основными линиями по наружному диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями – по внутреннему диаметру (рис. 9).

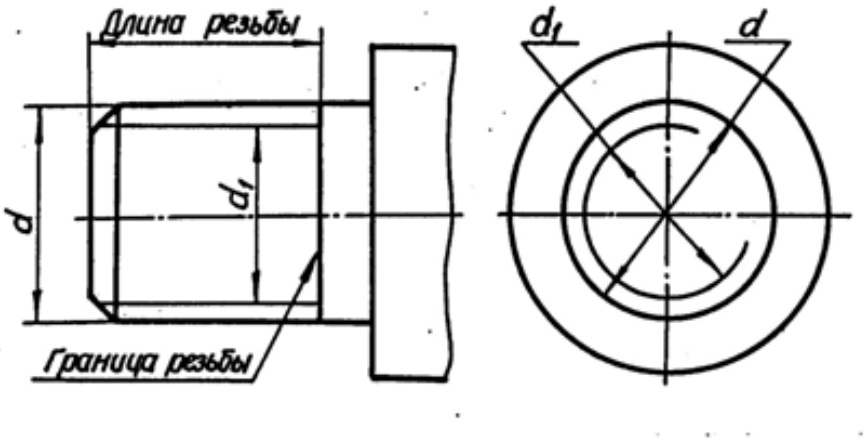


Рис.9

При изображении на плоскости, параллельной оси резьбы, тонкая линия должна пересекать границу фаски на конце стержня и доходить до сплошной линии, ограничивающей резьбу.

При изображении резьбы на плоскости, перпендикулярной к оси резьбы. тонкую линию окружности внутреннего диаметра резьбы проводят в виде дуги, примерно равной ¾ этой окружности. Разрыв окружности допускается делать в любом месте. Расстояние между сплошной и тонкой линиями обычно принимают равным не менее 0,8 мм и не более шага резьбы.

Не принято на этом виде показывать фаску, а также начинать и кончать тонкую линию на центровых (осевых линиях).

3.2. Изображение внутренней резьбы

Резьбу в отверстии изображают в плоскости разреза сплошными основными линиями по внутреннему диаметру резьбы и сплошными тонкими линиями – по наружному диаметру.

На виде, полученном проецированием на плоскость, перпендикулярную к оси резьбы, наружный диаметр резьбы изображают сплошной тонкой линией, приблизительно равной ¾ окружности, разомкнутой в любом месте.

Штриховку на разрезах и сечениях наносят до сплошных основных линий, соответствующих внутреннему диаметру резьбы в отверстии или наружному диаметру резьбы на стержне.

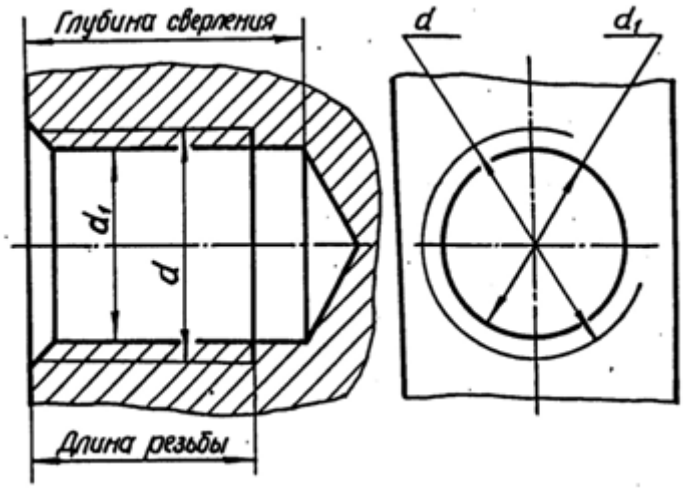


Рис. 10

3. 3. Изображение специальных резьб

При изображении резьб нестандартного профиля обязательно выявлять профиль резьбы либо с помощью местного разреза, либо – выносного элемента, указывая все необходимые размеры (наружный и внутренний диаметр резьбы, ширину впадины и шаг резьбы), а также и дополнительные данные: число заходов для многозаходной резьбы, направление для левой резьбы (рис. 11).

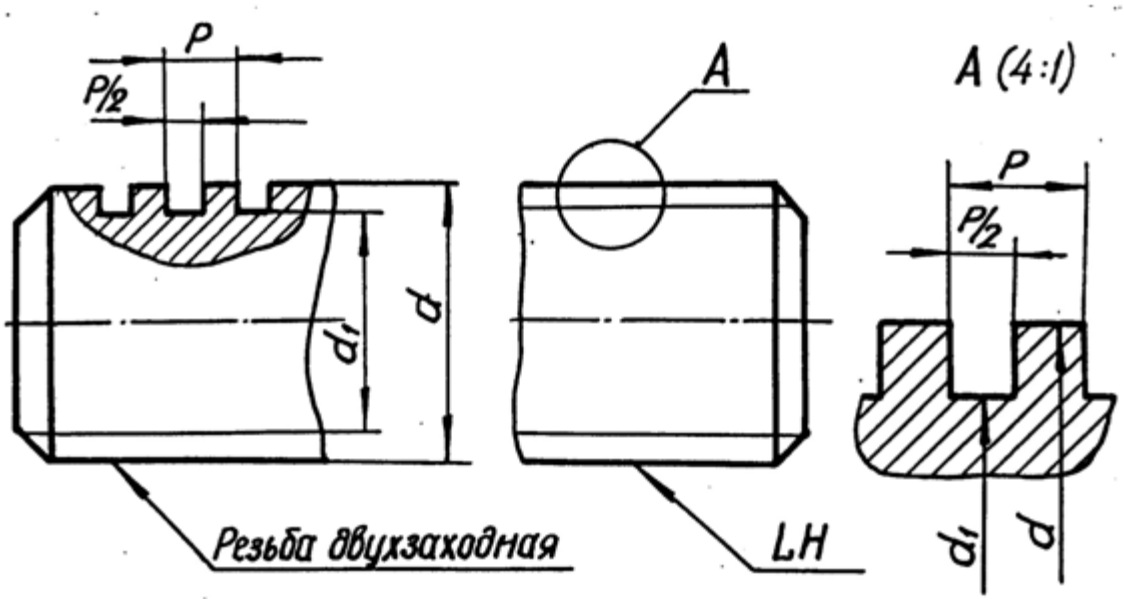


Рис. 11

3.4. Изображение резьбового соединения

На разрезах резьбового соединения наружный диаметр стержня изображают сплошной основной линией, а внутренний диаметр резьбы – сплошной тонкой линией. В отверстии показывают только ту часть резьбы, которая не закрыта резьбой стержня (рис. 12).

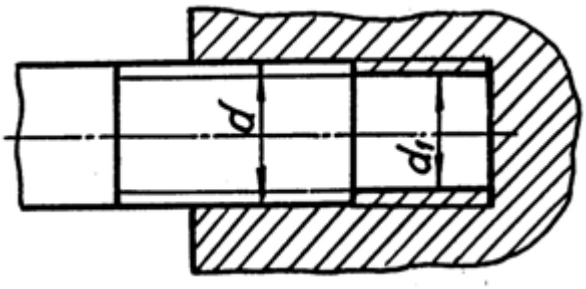
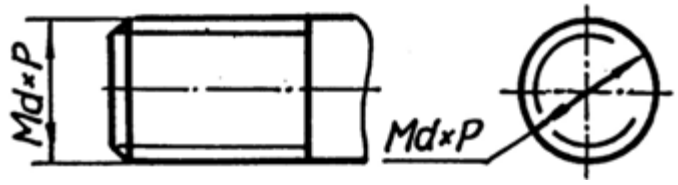
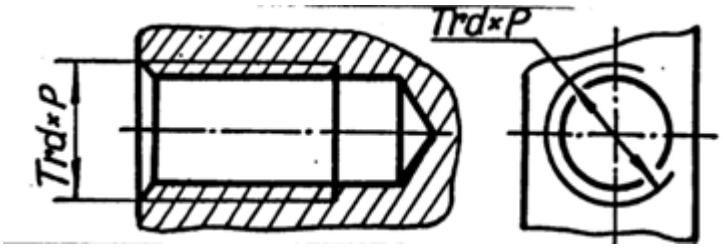
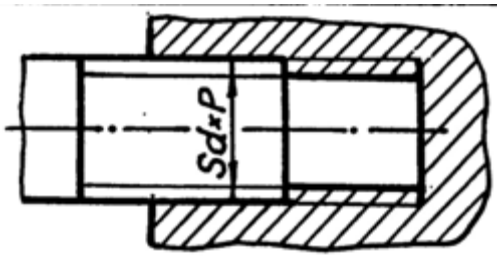
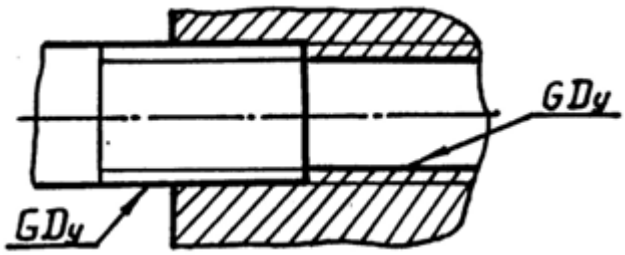


Рис. 12

4. ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЗЬБЫ НА ЧЕРТЕЖАХ

Обозначение стандартных резьб указывают по соответствующим нормативным документам. Условные обозначения резьб рассмотрены в гл. 2. Обозначение резьб на чертежах относят к ее наружному диаметру за исключением трубной и конической резьб, которые обозначают на линиях-выносках, оканчивающихся стрелкой. Стрелку проводят от контура резьбы (сплошной основной линии) (табл. 1).

Таблица 1

Типы резьб	Обозначение
Метрическая	
Трапецеидальная	
Упорная	
Трубная резьба цилиндрическая	

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ

В зависимости от условий и характера производства выполнение резьбы может осуществляться различными способами и инструментами. Для нарезания наружной резьбы применяется плашка, диаметр которой определяется диаметром и шагом резьбы. Метчик применяется для нарезания внутренней резьбы. Часто резьба нарезается на токарных или револьверных станках при помощи резца, заточенного в соответствии с профилем нарезаемой резьбы.

Резьбы имеют технологические элементы, связанные с выходом режущего инструмента из тела детали, к которым относятся: сбег, недорез, проточка и фаска. Технологические параметры резьбы зависят от угла заборной части резьбонарезающего инструмента и шага резьбы (параметры трубной цилиндрической резьбы зависят от диаметра условного прохода резьбы) и соответствуют ГОСТ 27148-86.

5.1. Сбег резьбы

Заборный участок плашки оставляет на стержне резьбу с постепенно уменьшающимся профилем. Длина участка неполноценной резьбы в конце резьбовой части детали, где глубина ее сходит на нет, называется сбегом резьбы. Сбег резьбы изображают сплошными тонкими линиями (рис. 13). Размер длины резьбы на стержне и в отверстии указывают, как правило, без сбега, но его учитывают при конструировании деталей.

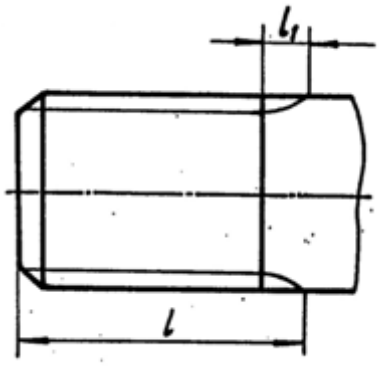


Рис. 13

5.2. Недовод резьбы

В случае, когда вырезаемая часть стержня ограничивается опорной поверхностью (буртиком, головкой, заплечником), при нарезании резьбы плашка во избежание поломки, обычно не доводится до упора в эту поверхность. Величина ненарезанной части детали между концом сбега резьбы и упорной поверхностью называется недоводом резьбы. Недовод зависит от шага резьбы; он не больше двух шагов, а для внутренней – не более трех шагов.

5.3. Недорез резьбы

Длина участка детали, состоящая из недовода и сбега при нарезании резьбы в упор называется недорезом (рис. 14).

Численные значения сбега и недовода резьбы стандартизованы ГОСТ 27148-86. Рекомендуется принимать длину участка недореза равной примерно трем шагам, но не более 0,5 d, где d – размер номинального диаметра резьбы.

5.2. Фаска

До нарезания резьбы на конце стержня и в начале отверстия выполняются фаски. Эти фаски представляют собой коническую поверхность, образующая которой составляет с осью резьбы угол 45°. Фаски упрощают процесс нарезания резьбы и облегчают соединение между собой резьбовых деталей.

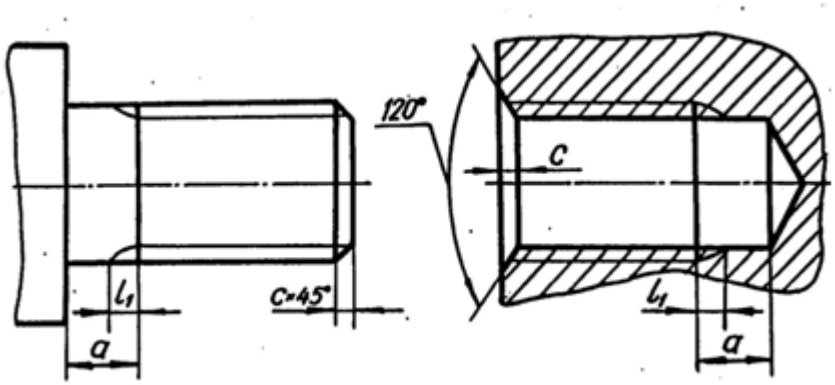


Рис. 14

5.5. Проточка

С целью облегчения процесса нарезания резьбы обычно выполняются наружные или внутренние проточки для выхода резьбонарезающего инструмента. Если на участке сбега резьбы заранее вытачивается канавка, то при нарезании резьбы режущая часть инструмента выйдет в нее, и резьба на всем протяжении имеет полный профиль. Проточки могут иметь прямоугольный или полукруглый профиль.

Диаметр наружной проточки выполняется несколько меньшим внутреннего диаметра резьбы, диаметр же внутренней проточки выполняется несколько большим наружного диаметра резьбы (рис. 15).

Форма и размеры наружных и внутренних проточек зависят от типа резьбы и ее шага и устанавливаются ГОСТ 27148-86.

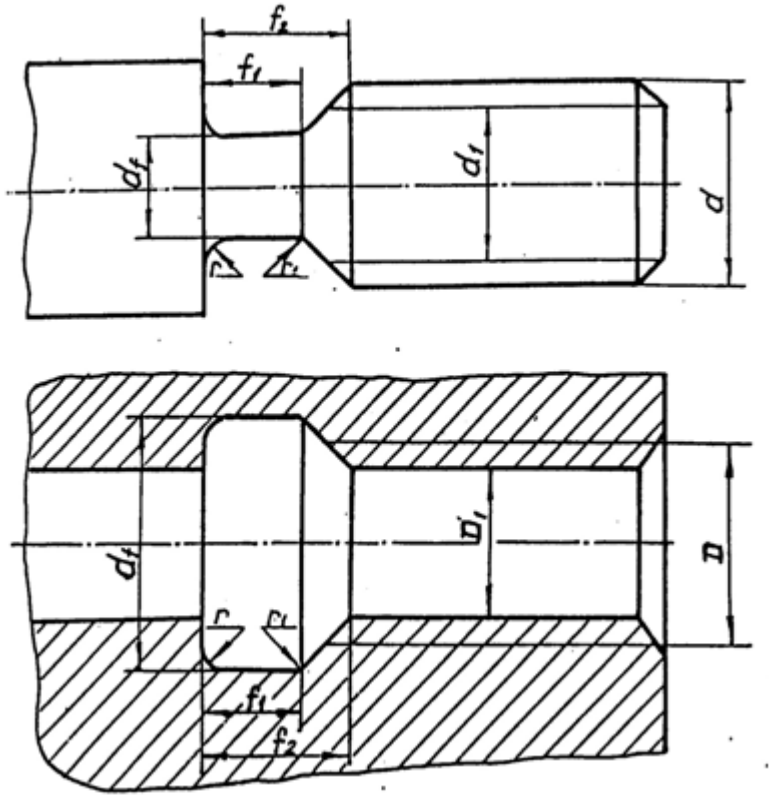


Рис. 15

6. ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ «РЕЗЬБЫ»

6.1. Цель задания

Целью задания является изучение резьб, применяемых в машиностроении, условное изображение и обозначение резьбы и ее технологических элементов. При изучении резьбы и выполнении задания студент должен приобрести навыки общения с государственными стандартами по данной теме.

6. 2. Содержание задания

Задание выполняется карандашом на формате Ф3 в масштабе 1:1.

Вычертить вал в соответствии со своим вариантом, обозначив размеры технологических элементов резьб.

Выполнить сечение по шпоночному пазу.

Варианты заданий

Таблица 2

Номер варианта	Тип вала	Диаметр вала D_B	Левый конец вала			Правый конец вала		
			Тип резьбы	d	P	Тип резьбы	d	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	I	80	*M*	64	4,0	*S*	28	5,0
2	II	60	*Tr*	42	3,0	*M*	27	2,0
3	III	70	*M*	64	6,0	*Tr*	42	3,0
4	IV	26	*M*	24	3,0	*Tr*	40	3,0
5	I	60	*M*	42	4,0	*Tr*	48	3,0
6	II	63	*M*	30	3,5	*Tr*	44	3,0
7	III	71	*Tr*	50	3,0	*M*	27	3,0
8	IV	27	*M*	27	3,0	*Tr*	42	3,0
9	I	63	*M*	42	3,0	*S*	20	2,0
10	II	70	*Tr*	48	3,0	*M*	36	4,0
11	III	73	*M*	64	4,0	*Tr*	48	3,0

Продолжение табл. 2

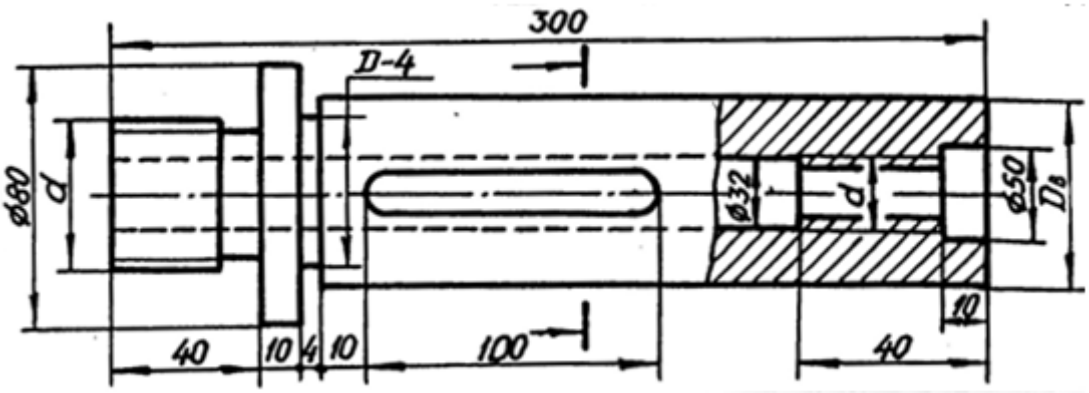
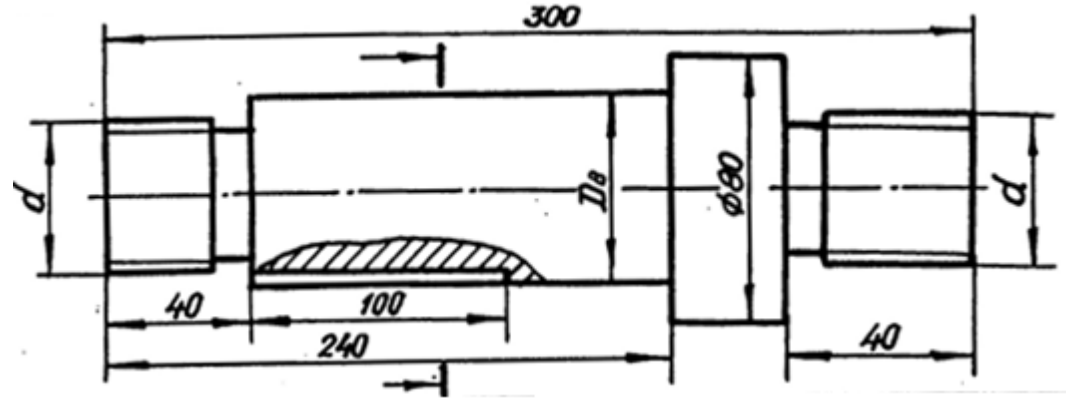
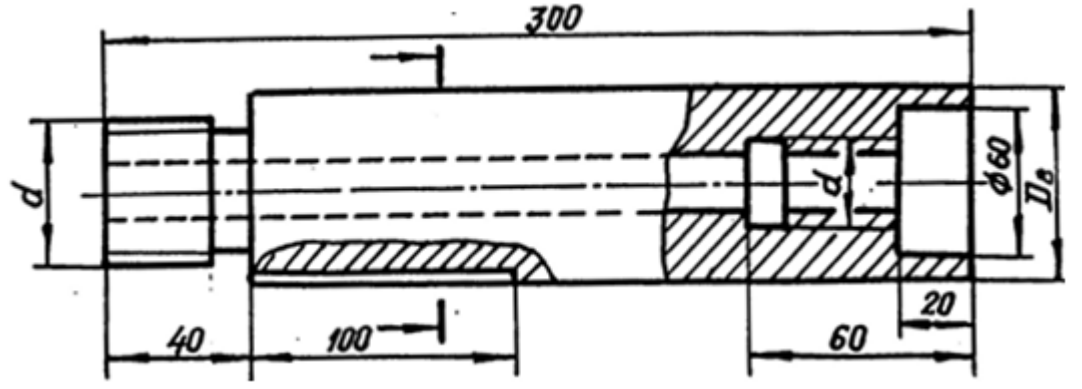
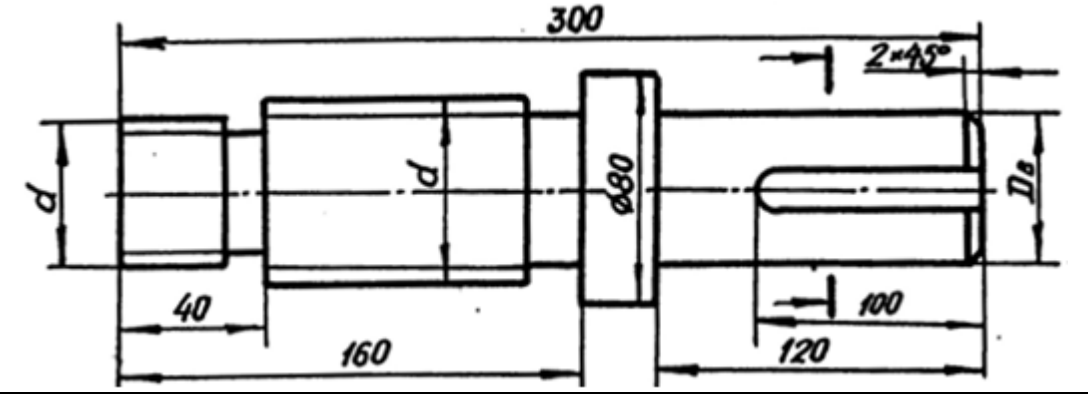
1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	IV	30	*M*	30	3,5	*Tr*	42	3,0
13	I	70	*M*	64	3,0	*Tr*	24	2,0
14	II	60	*M*	48	2,0	*Tr*	40	3,0
15	III	75	*Tr*	65	6,0	*Tr*	42	4,0
16	IV	40	*M*	42	3,0	*M*	65	4,0
17	I	71	*M*	39	3,0	*Tr*	26	5,0
18	II	65	*Tr*	28	2,0	*S*	30	3,5
19	III	78	*M*	45	4,5	*M*	30	3,0
20	IV	28	*M*	24	2,0	*Tr*	44	3,0
21	I	73	*M*	52	5,0	*Tr*	28	2,0
22	II	67	*M*	42	3,0	*Tr*	30	3,0
23	III	80	*Tr*	50	3,0	*M*	24	3,0
24	IV	32	*M*	27	2,0	*Tr*	46	3,0
25	I	75	*M*	48	3,0	*S*	22	2,0
26	II	71	*Tr*	65	4,0	*M*	48	3,0
27	III	82	*M*	56	5,5	*Tr*	40	3,0
28	IV	32	*M*	30	3,0	*Tr*	48	3,0
29	I	80	*M*	42	4,0	*Tr*	24	2,0
30	II	73	*M*	64	3,0	*Tr*	50	3,0
31	III	85	*Tr*	46	3,0	*M*	22	2,5
32	IV	28	*M*	24	1,5	*Tr*	40	3,0
33	I	85	*M*	48	4,0	*S*	32	6,0
34	II	80	*Tr*	42	3,0	*M*	33	2,0
35	III	70	*M*	39	1,5	*Tr*	24	2,0
36	IV	40	*M*	39	1,5	*Tr*	50	3,0
37	I	82	*M*	56	5,5	*Tr*	24	2,0

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	II	72	*M*	48	4,0	*Tr*	50	3,0
39	III	71	*Tr*	50	3,0	*M*	30	3,5
40	IV	36	*M*	42	2,0	*Tr*	52	3,0
41	I	63	*M*	48	2,0	*S*	26	5,0
42	II	71	*Tr*	65	4,0	*M*	36	3,0
43	III	73	*M*	48	3,0	*Tr*	28	2,0
44	IV	40	*M*	42	4,5	*Tr*	60	3,0
45	I	80	*M*	64	6,0	*Tr*	28	2,0
46	II	75	*M*	30	3,0	*Tr*	24	2,0
47	III	75	*Tr*	65	4,0	*M*	36	3,0
48	IV	28	*M*	24	3,0	*Tr*	40	3,0
49	I	65	*M*	42	3,0	*S*	26	2,0
50	II	80	*Tr*	55	3,0	*M*	39	4,0
51	III	78	*M*	64	4,0	*Tr*	44	3,0
52	IV	32	*M*	27	2,0	*Tr*	42	3,0
53	I	67	*M*	48	5,0	*Tr*	26	2,0
54	II	82	*M*	48	2,0	*Tr*	65	4,0
55	III	80	*Tr*	52	3,0	*M*	36	4,0
56	IV	40	*M*	42	4,0	*Tr*	65	4,0
57	I	78	*M*	48	4,0	*S*	32	6,0
58	II	85	*Tr*	42	3,0	*M*	42	4,0
59	III	82	*M*	48	3,0	*Tr*	26	2,0
60	IV	36	*M*	30	1,5	*Tr*	44	3,0

Типы валов

Таблица 3

Тип вала	Исходный черте	
	Левый конец вала	Правый конец вала
I		
II		
III		
IV		

7. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

7.1. Конец вала с метрической резьбой на стержне

По заданию на конце вала необходимо изобразить метрическую резьбу с ее технологическими элементами и нанести размерную сетку (рис. 16). Приступая к вычерчиванию, рекомендуется необходимые размеры сводить в табл. 4, например, требуется изобразить метрическую резьбу с номинальным диаметром 36 мм и шагом 3 мм.

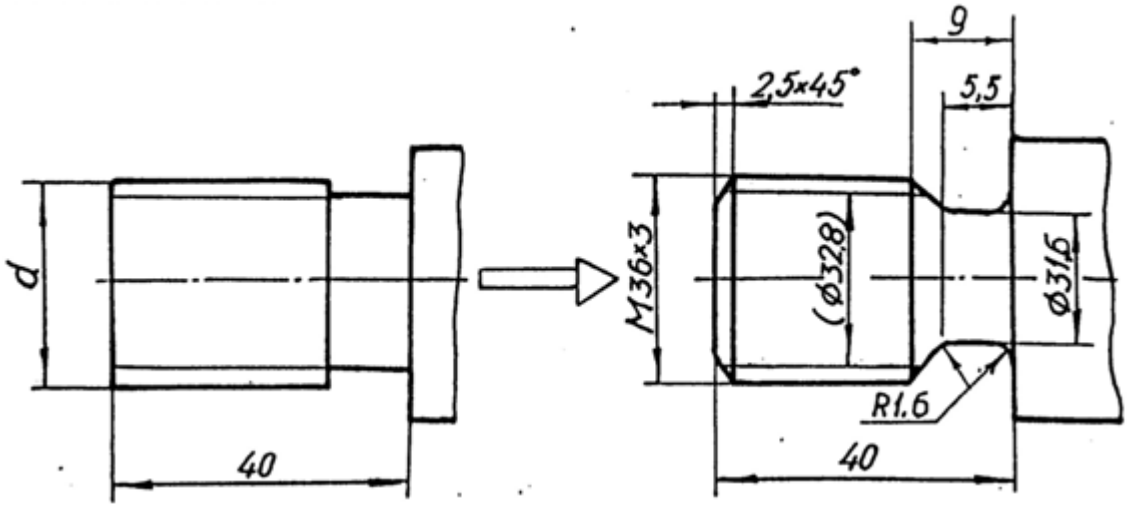


Рис. 16

Таблица 4

Размеры	Обозначение	Величина	Номер табл.	Стр.
Тип резьбы	*M*		2	20…22
Номинальный диаметр резьбы	*d*	36		
Шаг резьбы	*P*	3	2	
Вид шага		мелкий	5	
Внутренний диаметр резьбы	D_1	32,8	5	
Диаметр проточки	*d*	*d*-4.4	6	
Ширина проточки (нормальной)	f_1 min	5,2	6	
	f_2 max	9,0	6	
Радиусы скругления проточки	r	*P*: 2~1,6	6	
Высота фаски	c	2,5	6	

Таблица 5

Шаг метрической резьбы P	Диаметр резьбы		Шаг метрической резьбы P	Диаметр резьбы	
	наружный $d(D)$	внутренний $d_1(D_1)$		наружный $d(D)$	внутренний $d_1(D_1)$
с крупным шагом			с мелким шагом		
1	6	4,9	1,5	24	22,4
1,25	8	6,6		30	28,4
1,5	10	8,4		39	37,4
1,75	12	10,1	2	20	17,8
2	14	11,8		24	21,8
2	16	13,8		27	24,8
2,5	18	15,3		30	27,8
2,5	20	17,3		33	30,8
2,5	22	19,3		36	33,8
3	24	20,8		42	39,8
3	27	23,8		48	45,8
3,5	30	26,2		72	69,8
2,5	33	29,2	3	30	26,8
4	36	31,7		36	33,8
4	39	34,7		42	38,8
4,5	42	37,1		48	44,8
4,5	45	40,1		64	60,8
5	48	42,3	4		
5	52	46,6		42	37,7
5,5	56	50,0		48	43,7
5,5	60	54,0		64	59,7
6	64	57,5			
6	68	61,5			

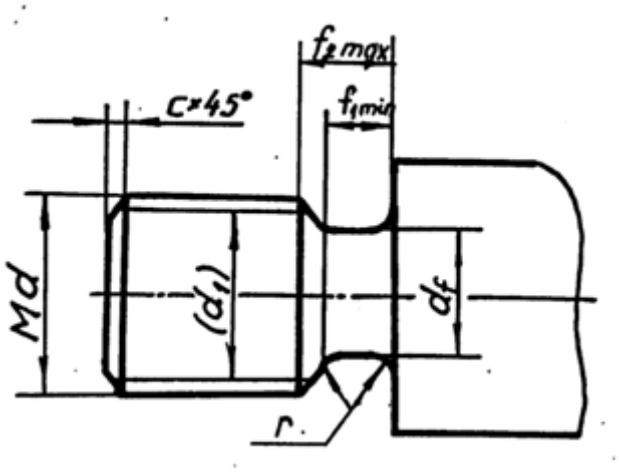


Таблица 6

Шаг резьбы	Номинальный диаметр резьбы с крупным шагом	d_f	Проточка нормальная		Проточка узкая		r $0,5P$	c
			f_1min	f_2max	f_1min	f_2max		
1	6; 7	*d*-1,6	1,6	3,0	1,1	2,5	0,6	1,0
1,5	10	*d*-2,3	2,5	4,5	1,8	3,8	0,8	1,6
2	14; 16	*d*-3,0	3,4	6,0	2,5	5,0	1,0	2,0
2,5	18; 20; 22	*d*-3,6	4,4	7,5	3,2	6,3	0,2	2,5
3	24; 27	*d*-4,4	5,2	9,0	3,7	7,5	1,6	2,5
3,5	30; 33	*d*-5,0	6,2	10,5	4,7	9,0	1,6	2,5
4	36; 39	*d*-5,7	7,0	12,0	5,0	10,0	2,0	3,0
4,5	42; 45	*d*-6,4	8,0	13,5	5,5	11,0	2,0	3,0
5	48; 52	*d*-7,0	9,0	15,0	6,5	12,5	2,5	4,0
5,5	56; 60	*d*-7,7	11,0	17,5	7,5	14,0	3,2	4,0
6	64; 68	*d*-8,3	11,0	18,0	8,0	15,0	3,2	4,0

7. 2. Конец вала с метрической резьбой в отверстии

При вычерчивании в отверстии метрической резьбы внутренний диаметр определяется по табл. 5, а размеры проточки – по табл. 7.

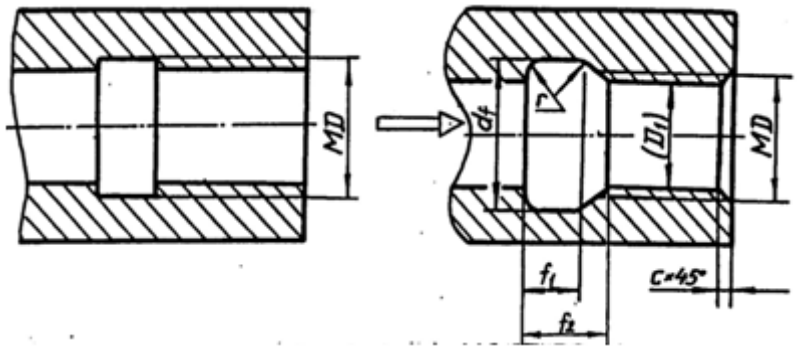
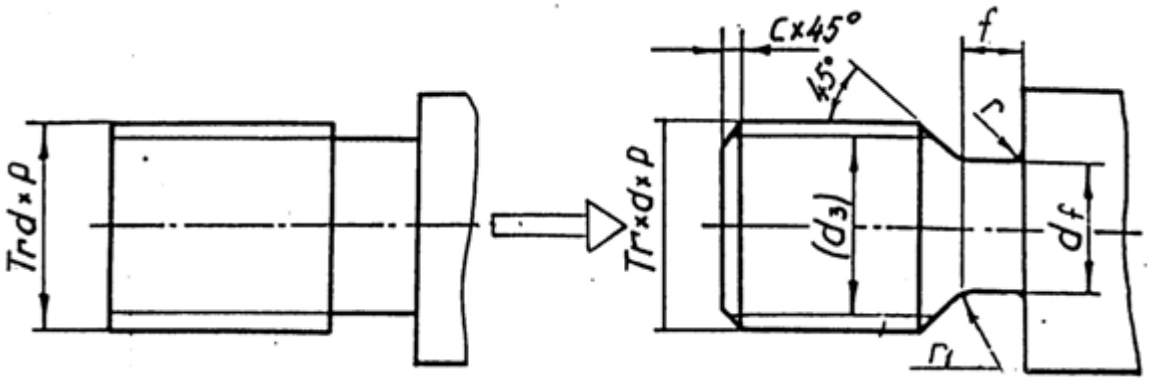


Таблица 7

Шаг резьбы	d_f	Проточка нормальная		Проточка узкая		r 0,5P	c
		$f_1$min	$f_2$max	$f_1$min	$f_2$max		
1	d+0,5	4	5,2	2,5	3,7	0,6	1,0
1,5	d+0,5	6	7,8	3,8	5,6	0,8	1,6
2	d+0,5	8	10,3	5,0	7,3	1,0	2,0
2,5	d+0,5	10	13,0	6,3	9,3	0,2	2,5
3	d+0,5	12	15,2	7,5	10,7	1,6	2,5
3,5	d+0,5	14	17,0	9,0	12,7	1,6	2,5
4	d+0,5	16	20,0	10,0	14,0	2,0	3,0
4,5	d+0,5	18	23,0	11,0	16,0	2,0	3,0
5	d+0,5	20	26,0	12,5	18,5	2,5	4,0
5,5	d+0,5	22	28,0	14,0	20,0	3,2	4,0
6	d+0,5	24	30,0	15,0	21,0	3,2	4,0

7. 3. Конец вала с трапецеидальной резьбой на стержне

При вычерчивании резьбы на стержне внутренний диаметр определяют по табл. 8, а размеры проточки – по табл. 9.



Шаг резьбы P	Диаметр			
	Наружная резьба		Внутренняя резьба	
	d, D	d_3	D_1, d_1	D_4
2	24	21,5	22,0	24,5
	28	25,6	26,0	28,5
3	30	26,5	27,0	30,5
	40	36,5	37,0	40,5
	42	38,5	39,0	42,5
	44	40,5	41,0	44,5
	46	42,5	43,0	46,5
	48	44,5	45,0	48,5
	50	46,5	47,0	50,5
	52	48,5	49,0	52,5
	55	51,5	52,0	55,5
	60	56,5	57,0	60,5
4	65	60,5	61,0	65,5

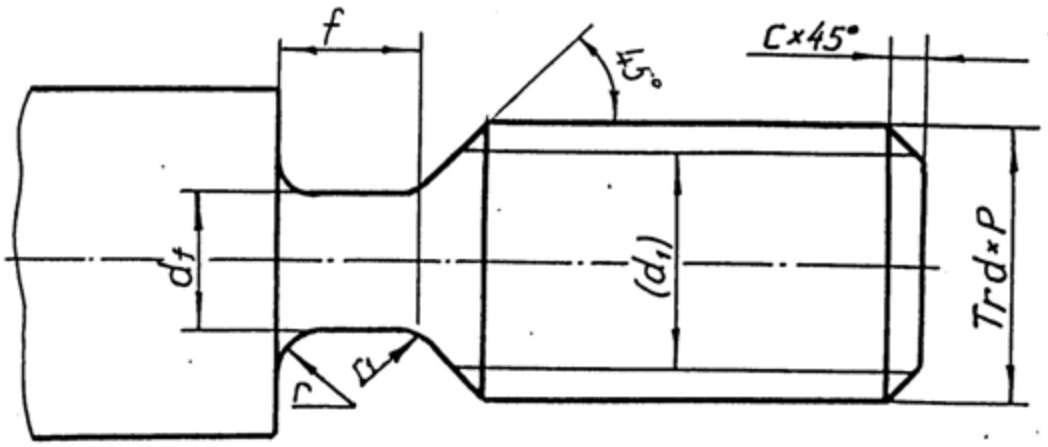


Таблица 9

Шаг резьбы	d_f	f_1	r	r_1	c
2	*d*-3,0	3	1,0	0,5	1,6
3	*d*-4,2	5	1,6	0,5	2,0
4	*d*-5,2	6	1,6	1,0	2,5
5	*d*-7,0	8	2,0	1,0	3,0
6	*d*-8,0	10	3,0	1,0	3,5
8	*d*-10,2	12	3,0	1,0	4,5
10	*d*-12,5	16	3,0	1,0	5,5

7. 4. Конец вала с трапецеидальной резьбой в отверстии

При вычерчивании трапецеидальной резьбы в отверстии следует учитывать зазор между стержнем и «гайкой», изображение выполняют по размерам диаметров, указанных в табл. 8, но на чертеже обозначают резьбу по номинальному размеру. Проточку вычерчивают по размерам, приведенным в табл. 10.

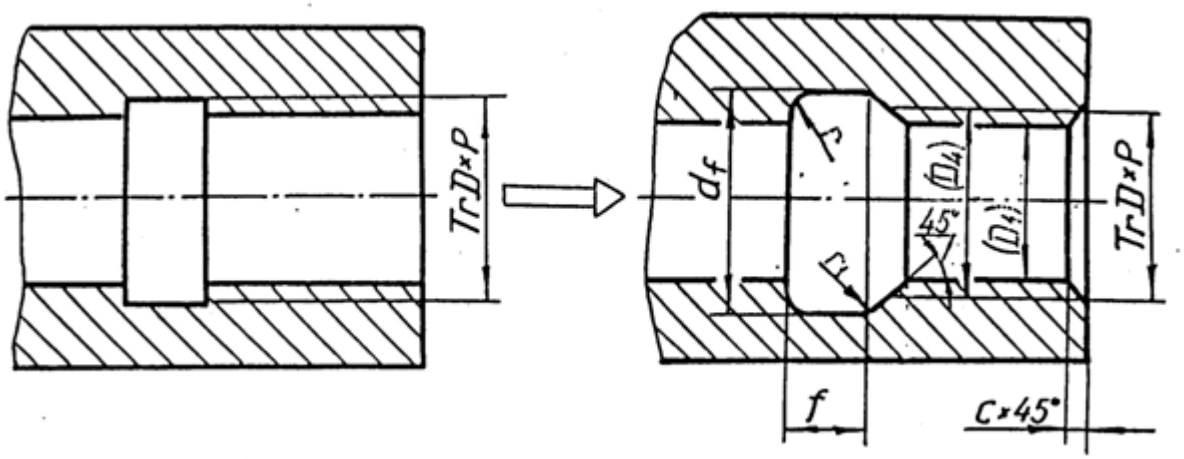


Таблица 10

Шаг резьбы	d_f	f_1	r	r_1	c
2	d+1,0	3	1,0	0,5	1,6
3	d+1,0	5	1,6	0,5	2,0
4	d+1,1	6	1,6	1,0	2,5
5	d+1,6	8	2,0	1,0	3,0
6	d+1,6	10	3,0	1,0	3,5
8	d+1,8	12	3,0	1,0	4,5
10	d+1,8	16	3,0	1,0	5,5

7. 5. Конец вала с упорной резьбой в отверстии

Размеры, необходимые для вычерчивания упорной резьбы, представлены в табл. 11.

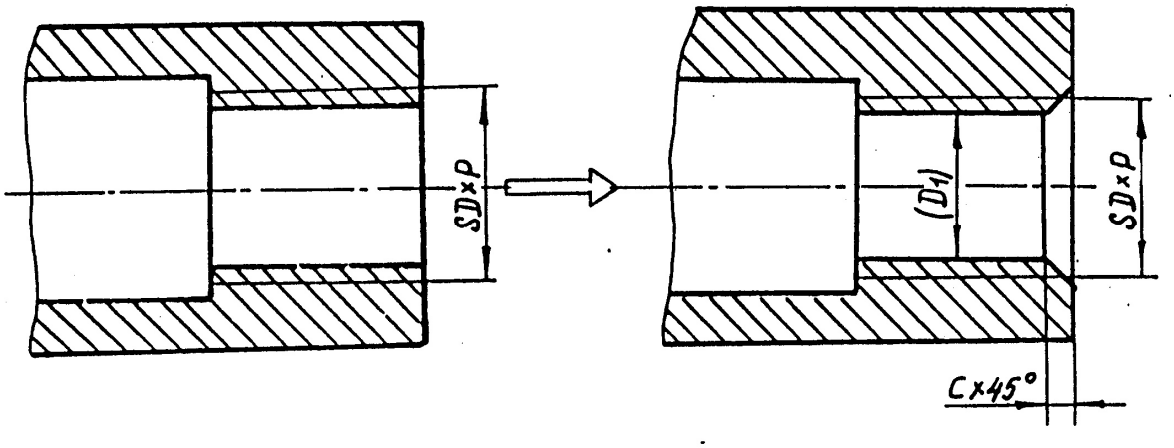


Таблица 11

Шаг резьбы P	Диаметр		Фаска c
	Наружный d, D	Внутренний D_1	
2	20	17,0	1,6
2	22	19,0	1,6
2	26	23,0	1,6
3	32	27,5	2,0
5	26	18,5	3,0
5	28	20,5	3,0
6	32	23,0	3,5

7.6. Изображение шпоночного паза ГОСТ 23360-78 (СТ СЭВ 189-79)

Шпонкой называется деталь, устанавливаемая в пазах двух соприкасающихся деталей для предотвращения их относительного перемещения и для передачи крутящего момента.

Форму шпоночного паза на валу обычно показывают сечением. Размеры шпоночного паза, зависящие от диаметра цапфы вала, представлены в табл. 12.

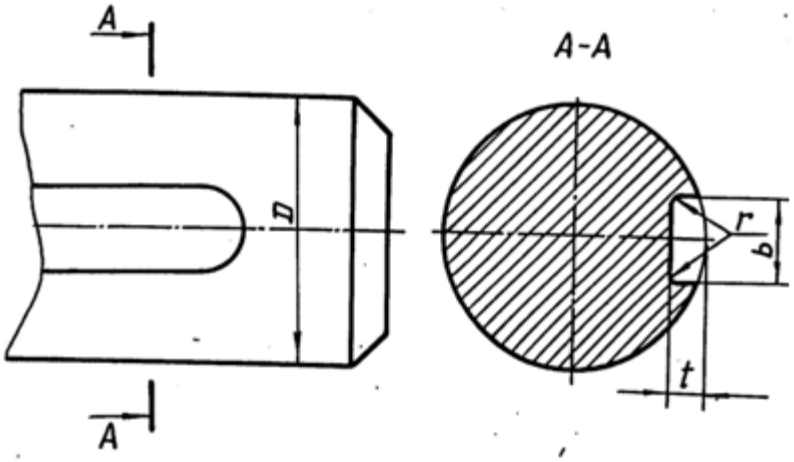
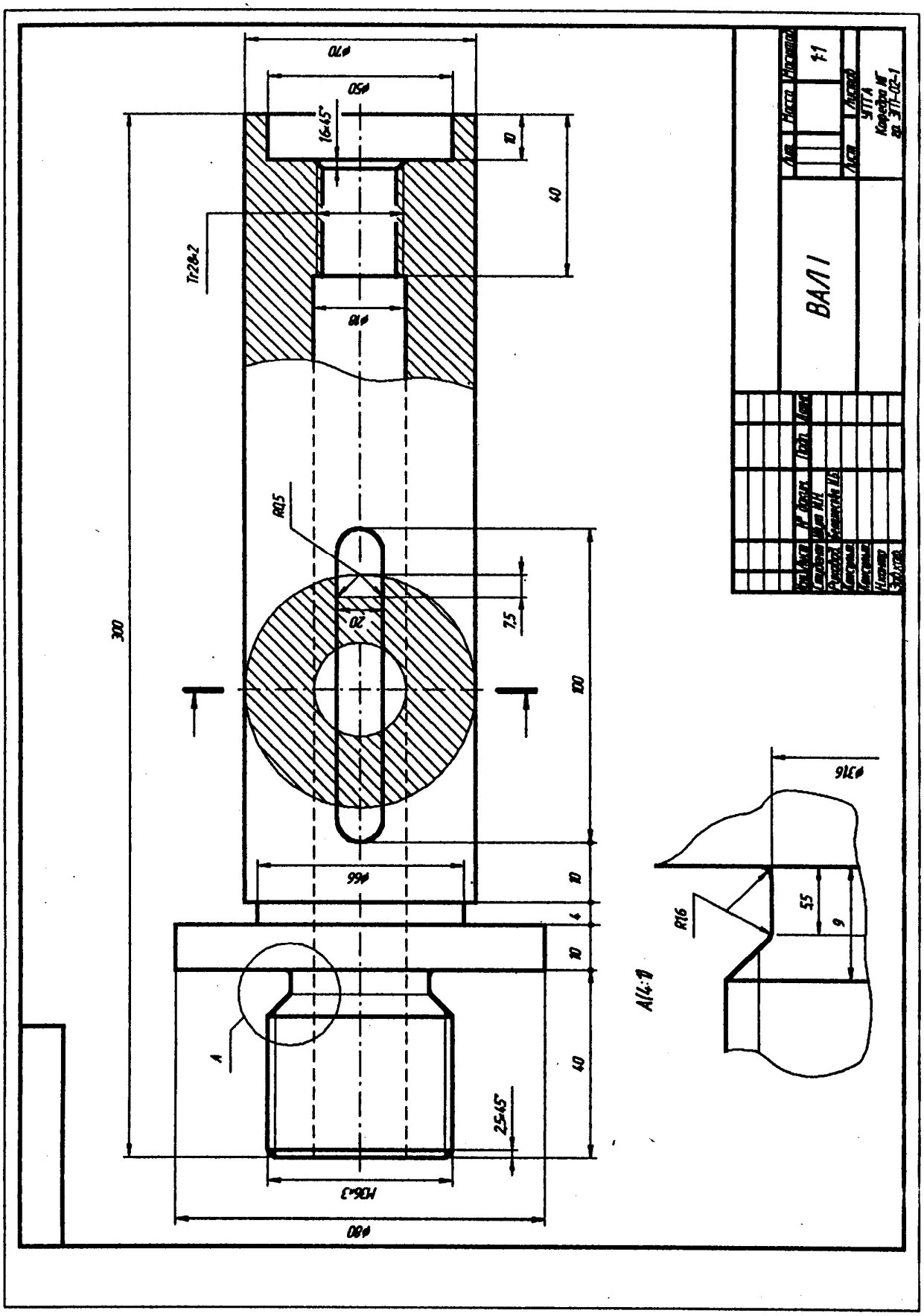
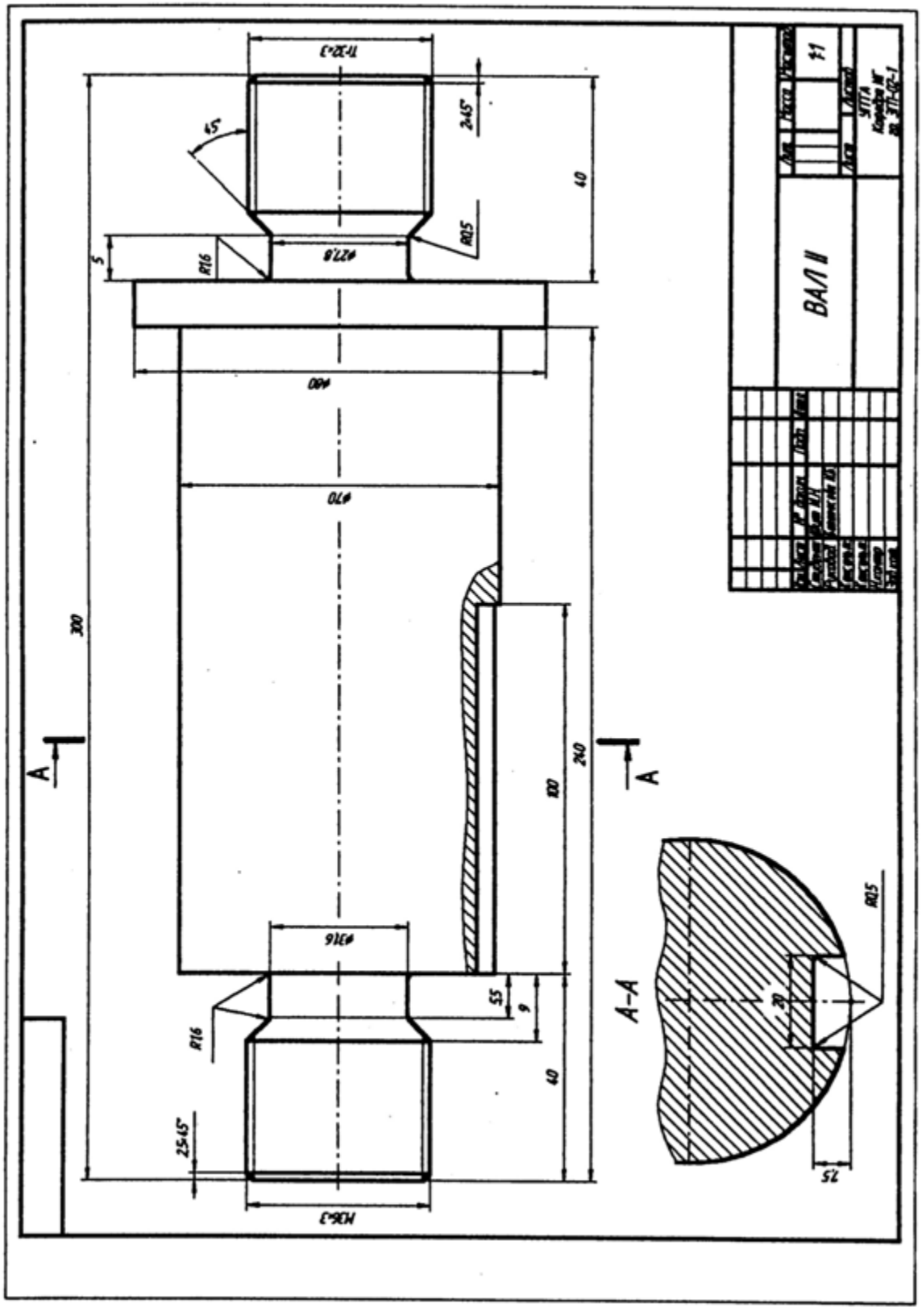
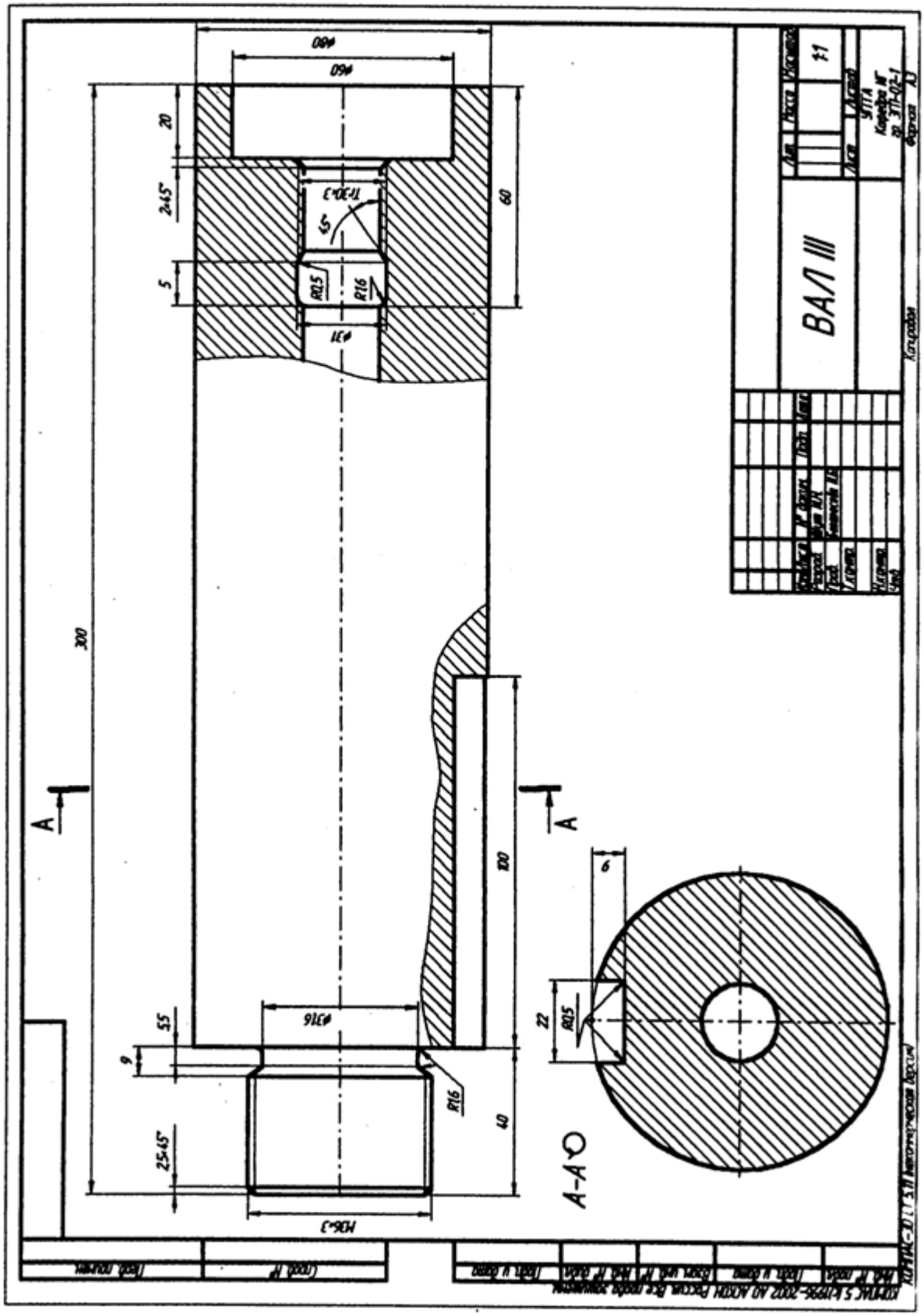


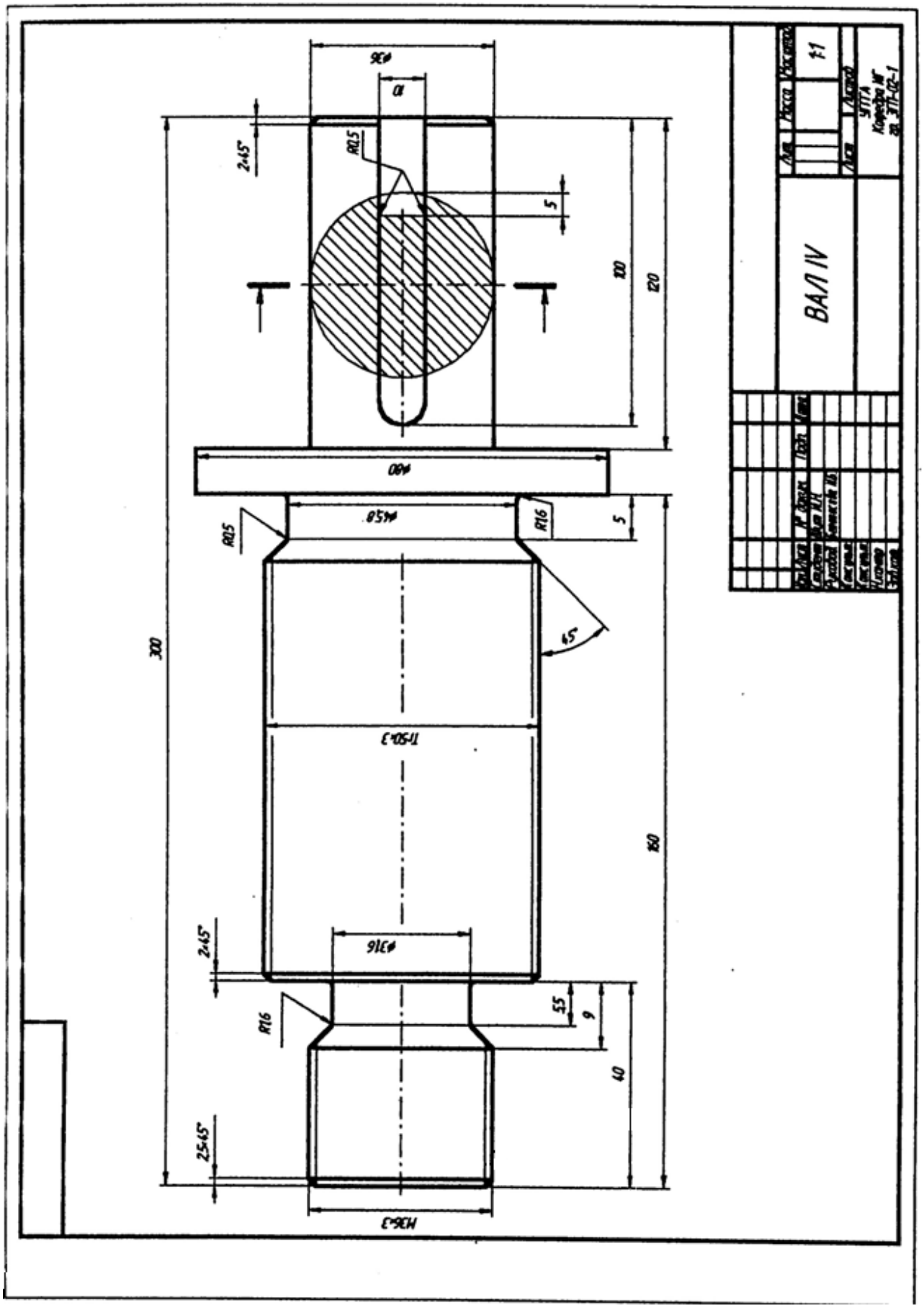
Таблица 12

Диаметр вала O	Шпоночный паз		
	Ширина *b*	Глубина *t*	Радиус закругления *r*
Свыше 22 до 30	8	4,0	От 0,16 до 0,25
30 38	10	5,0	0,25 0,40
38 44	12	5,0	0,16 0,40
44 50	14	5,5	0,25 0,40
50 58	16	6,0	0,25 0,40
58 65	18	7,0	0,25 0,40
65 75	20	7,5	0,40 0,60
75 85	22	9,0	0,40 0,60


ВАЛ I
1:1
УГТА
Кафедра МГ
ф70
ф50
16×45°
10
40
Tr28×2
ф18
R0,5
20
7,5
300
100
ф66
10
4
10
40
25×45°
M36×3
ф80
A
A(4:1)
ф316
R16
5,5
9


ВАЛ II
А–А
1:1
300
240
100
40
5
R16
R0,5
2×45°
45°
Ø80
Ø70
Ø27,8
Ø31,6
5,5
9
20
7,5


ВАЛ III
А-А
300
100
60
40
20
5
9
22
6
R0,5
R16
Tr30×3
45°
M36×3
ø80
ø60
ø31
ø316
2×45°
25×45°
5,5
1:1


ВАЛ IV
УГТА
Корефа №
ф36
10
R0,5
2×45°
5
100
120
ф80
ф45,8
R1,6
5
R0,5
45°
300
Tr50×3
160
ф31,6
2×45°
R1,6
5,5
9
40
2,5×45°
M36×3

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анурьев В. И*. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1990.
2. *Баева Г. Г*. Условности машиностроительного черчения. Методическая разработка. Свердловский горный институт. – Свердловск, 1976.
3. ГОСТ 27148-86 (СТ СЭВ 214-86). Выход резьбы, сбеги, недорезы, проточки. Размеры.
4. *Попова Г. Н*., *Алексеев С. Ю*. Машиностроительное черчение. Справочник. – М.: Машиностроение, 1986.
5. *Потишко А. В., Крушевская Д. П*. Справочник по инженерной графике. – Киев: Будівельник, 1983.
6. Резьбы. – М.: Изд. стандартов, 1985.
7. *Розов С. В*. Курс машиностроительного черчения с элементами автоматизированного контроля. - М.: Машиностроение, 1980.
8. *Чекмарев А. А*., *Осипов В. К*. Справочник по машиностроительному черчению. М.: Высшая школа, 1994.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. РЕЗЬБА. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ГОСТ 11708-82) 3
2. ТИПЫ РЕЗЬБ 5
2.1 Метрическая резьба 6
2.2 Трубная цилиндрическая резьба 7
2.3. Трапецеидальная резьба 9
2.4. Упорная резьба 10
2.5. Прямоугольная и квадратная резьбы 12
3. Изображение резьбы 13
3.1 Изображение наружной резьбы 13
3.2 Изображение внутренней резьбы 14
3.3 Изображение специальных резьб 15
3.4 Изображение резьбового соединения 15
4. ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЗЬБЫ НА ЧЕРТЕЖАХ 16
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗЬБЫ 17
5.1 Сбег резьбы 17
5.2 Недовод резьбы 18
5.3 Недорез резьбы 18
5.4 Фаска 18
5.5 Проточка 19
6. ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ «РЕЗЬБЫ» 20
6.1 Цель задания 20
6.2 Содержание задания 20
7. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 24
7.1 Конец вала с метрической резьбой на стержне 24
7.2 Конец вала с метрической резьбой в отверстии 27
7.3 Конец вала с трапецеидальной резьбой на стержне 28
7.4 Конец вала с трапецеидальной резьбой в отверстии 30
7.5 Конец вала с упорной резьбой в отверстии 34
7.6 Изображение шпоночного паза 32
7.7 Примеры оформления задания 33
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 37

Ирина Борисовна Белоносова

Методические указания
по курсу «Инженерная графика»
по теме «Условности машиностроительного черчения»
для студентов всех специальностей»

Часть 1
«Резьба»

Редактор *Л. В. Устьянцева*

Подписано в печать . .2010 г.
Бумага офсетная. Формат бумаги 60×84 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Печать на ризографе. Печ. л. 2,4 Уч.-изд. 2,05. Тираж 150 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральская государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

И. Б. Белоносова

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ I КУРСА ВСЕХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

ЧАСТЬ I

Екатеринбург, 2011

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
инженерно-экономического
факультета
«____» _____ 2011 г.
Председатель комиссии
_____проф. к.т.н. И. А. Тяботов

И. Б. Белоносова

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ЧЕРЧЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА»
ДЛЯ СТУДЕНТОВ I КУРСА ВСЕХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

ЧАСТЬ I

Издание УГГУ Екатеринбург, 2011

Б48

Рецензенты: *Н. Н. Черемных*, д. т. н., проф. Уральского государственного лесотехнического университета
Л. Г. Тимофеева, доцент Уральского государственного лесотехнического университета

Пособие рассмотрено на заседании кафедры инженерной графики 06.07.2010 года (протокол №5) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Белоносова И, Б.

Геометрическое черчение. Часть I. Методическое пособие по дисциплине «Начертательная геометрия. Инженерная графика» для студентов I курса всех специальностей. 3-е издание, исправленное и дополненное/И. Б. Белоносова; Уральский госуд. горный университет. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 27 с.

В методическом пособии излагаются основные положения Единой системы конструкторской документации, рассматриваются наиболее рациональные приемы построения сопряжений линий, эллипсов, овалов, а также даются рекомендации по выполнению и оформлению задания «Геометрическое черчение».

Пособие предназначено для студентов всех специальностей.

© Уральский государственный горный университет, 2011
© Белоносова И. Б.,

Одной из основных задач курса «Инженерная графика» является развитие навыков техники выполнения чертежей. На чертеже представлены контуры изображений, образованные прямыми, окружностями, и другими кривыми. При вычерчивании контуров изображений применяют различные построения и сопряжения.

1. ПРЯМАЯ ЛИНИЯ

Самый простой элемент контуров изображений – это прямая линия.

Прямые являются параллельными, если все точки одной из прямых равноудалены от другой.

Прямые являются перпендикулярными, если угол между ними равен 90°.

Задача 1.1. Построение прямой, параллельной данной (рис. 1).

Дана прямая *b* и точка *C*, не лежащая на прямой *b*.

Выбираем произвольную точку *D* на прямой *b*.

Этапы построения:

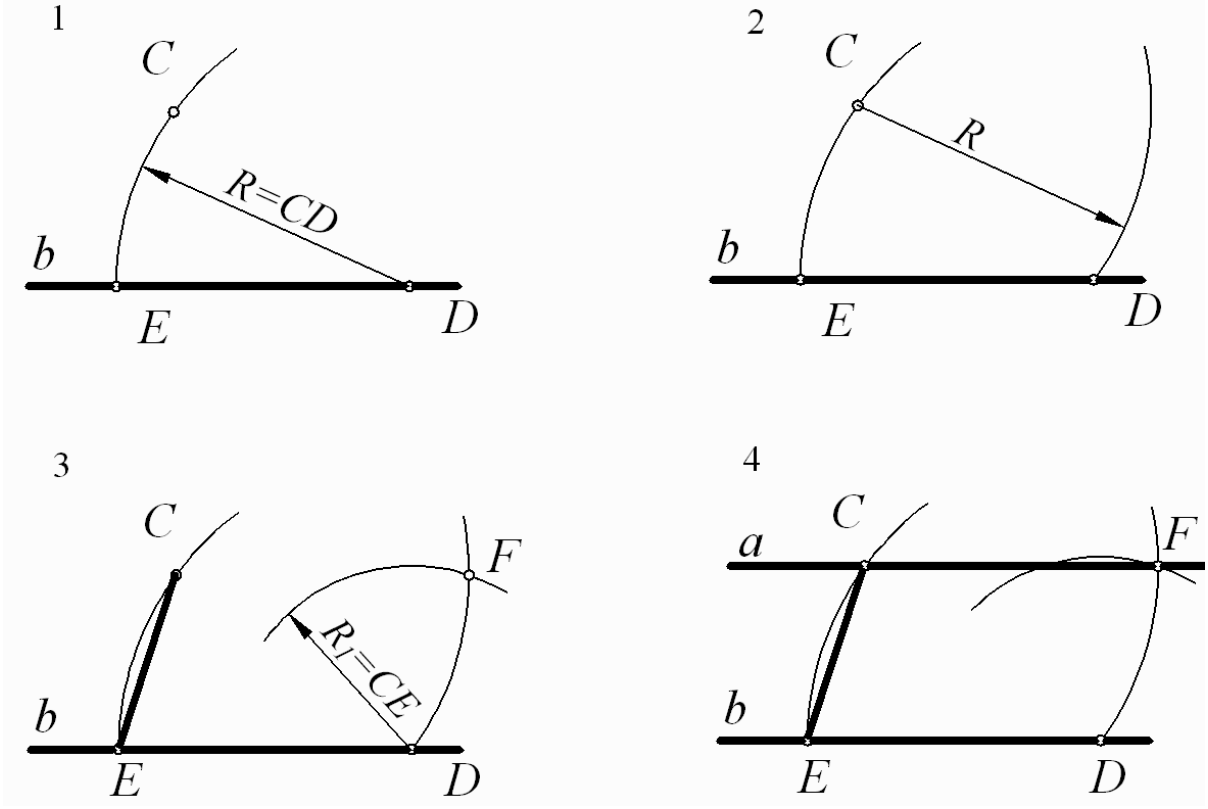


Рис. 1

Задача 1.2. Построить прямую, перпендикулярную заданной.

Даны прямая f и точка C. Этапы построения представлены на рис. 2. Радиусы R и R_1 взяты произвольно, но $R_1 > \frac{AB}{2}$

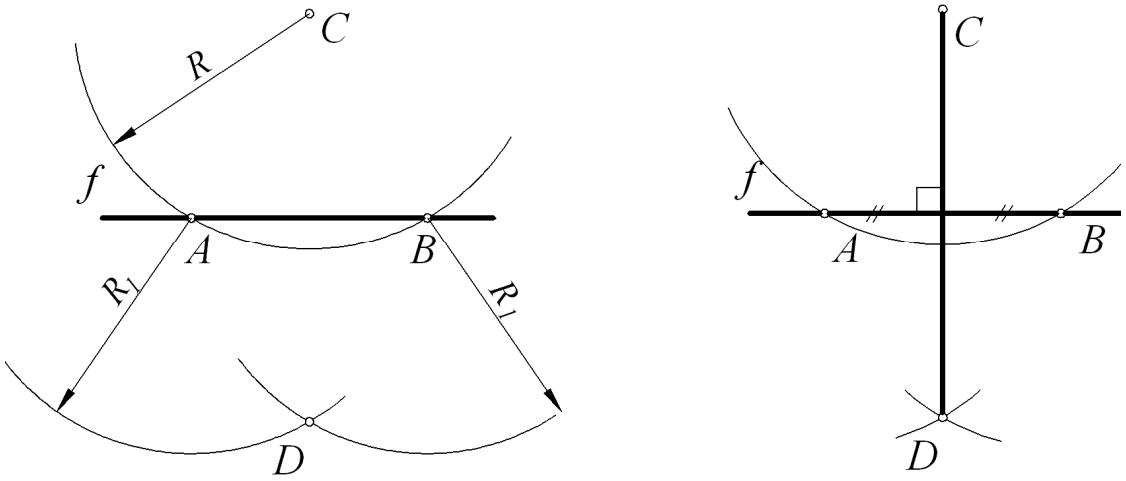


Рис. 2

2. УГОЛ, УКЛОН И КОНУСНОСТЬ

Две пересекающиеся прямые составляют угол. Прямая, которая делит угол на две равные части, называется биссектрисой.

Задача 2.1. Построить биссектрису угла.

Из центра угла проводят дугу произвольного радиуса, из точек пересечения дуги A и B проводят вспомогательные дуги произвольного радиуса R_1 до их взаимного пересечения. Точку пересечения дуг соединяют с вершиной угла C. Полученные углы можно таким же образом разделить на две равные части и т. д. (рис. 3).

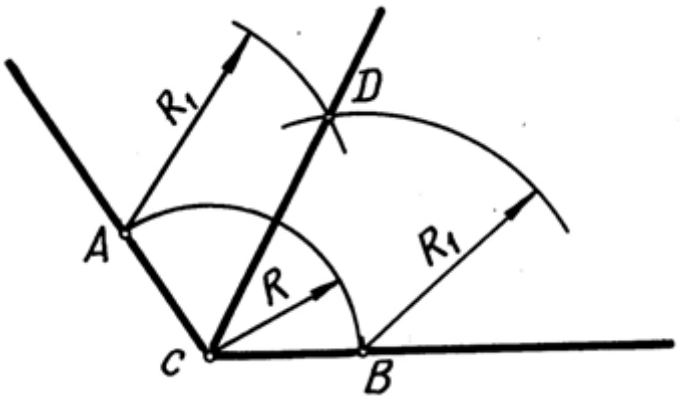


Рис. 3

Задача 2.2. Разделить отрезок *AB* на пять равных частей.

При делении отрезка на заданное число частей необходимо из одного конца отрезка провести произвольный луч и отложить на нем такое число произвольных по длине, но равных между собой отрезков, на которое нужно разделить данный отрезок (рис. 4).

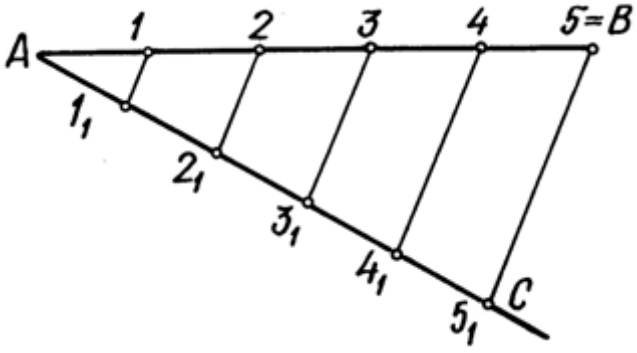


Рис. 4

Уклон – это величина, которая характеризует наклон одной прямой линии по отношению к другой и равна тангенсу угла между ними. Так наклон прямой *AC* к *AB* определяется уклоном, который равен $tg\alpha^\circ = \frac{CB}{AB}$ (рис. 5).

Уклон может быть выражен в процентах или в виде отношения двух чисел. Пред числовым значением наносят знак ∠, причем острый угол этого знака направляют в сторону уклона.

Незначительный уклон рекомендуется на чертеже изображать с увеличением.

$$tg\alpha^\circ = \frac{CB}{AB}$$

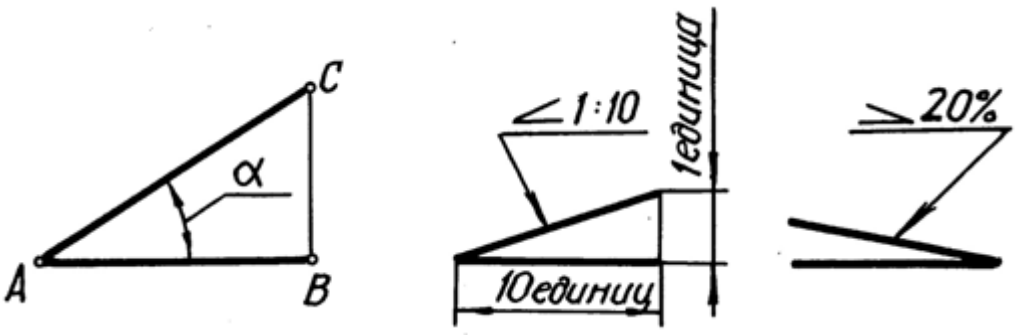
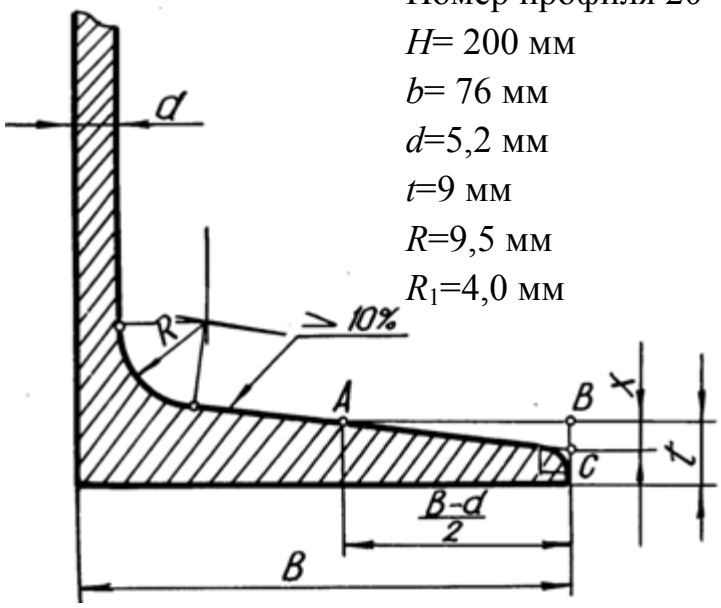


Рис. 5

Задача 2.3. Построить фрагмент полки швеллера, уклон которой 1:6.



Номер профиля 20
H= 200 мм
b= 76 мм
d=5,2 мм
t=9 мм
R=9,5 мм
R_1=4,0 мм

$$\frac{b-d}{2}=\frac{76-5,2}{2}=35,4 \text{ мм}$$

Через точку А, построенную по заданным размерам, проводят горизонтальную линию СВ, которая равна $\frac{b-d}{2}$.

Уклон 10%

$$\frac{1}{10}=\frac{BC}{AB};\quad \frac{1}{10}=\frac{BC}{35,4}$$

BC=3,5 мм

Рис. 6

Конусность – величина, представляющая собой отношение разности диаметров оснований прямого кругового усеченного конуса к его длине

$$K=\frac{D-d}{L} \text{ при } D=0,\ K=\frac{D}{L}.$$

Конусность также выбирается как отношение диаметра основания прямого кругового конуса к его высоте, т. е. $K= tg2\alpha$ (рис. 7).

Перед размерным числом, определяющим конусность, наносят знак ▷, острый угол которого должен быть направлен в сторону вершины конуса.

Незначительную конусность рекомендуется на чертеже изображать с увеличением. Конусность при угле 2α, равном от 30° до 120°, обозначают на чертеже величиной угла. Конусность так же, как и уклон может быть выражена в виде отношения или в процентах.

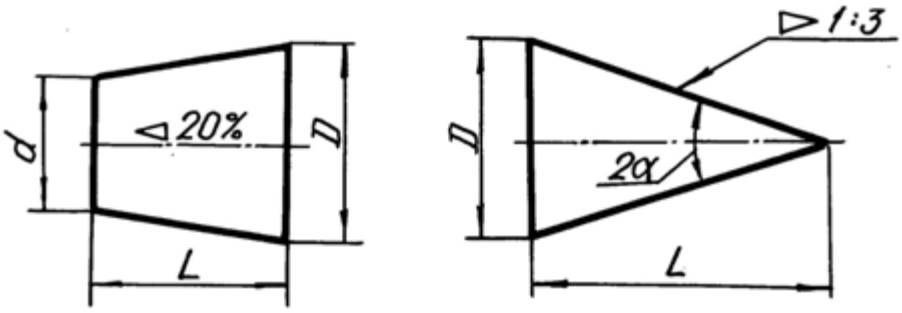


Рис. 7

3. ОКРУЖНОСТЬ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ. ПОСТРОЕНИЕ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ

Окружность – это замкнутая плоская кривая линия, у которой все точки находятся на одинаковом расстоянии от центра. Это расстояние называется радиусом (рис. 8).

Два радиуса, которые лежат на одной прямой, составляют диаметр. Наибольшее расстояние между двумя точками окружности равно диметру.

Прямая, которая пересекает окружность в двух точках, называется секущей. Отрезок секущей, расположенный между точками пересечения, называется хордой. Хорда перпендикулярна радиусу, проведенному через ее середину.

Прямая, которая имеет с окружностью одну общую точку, называется касательной. Касательная перпендикулярна радиусу, который проведен в точку касания.

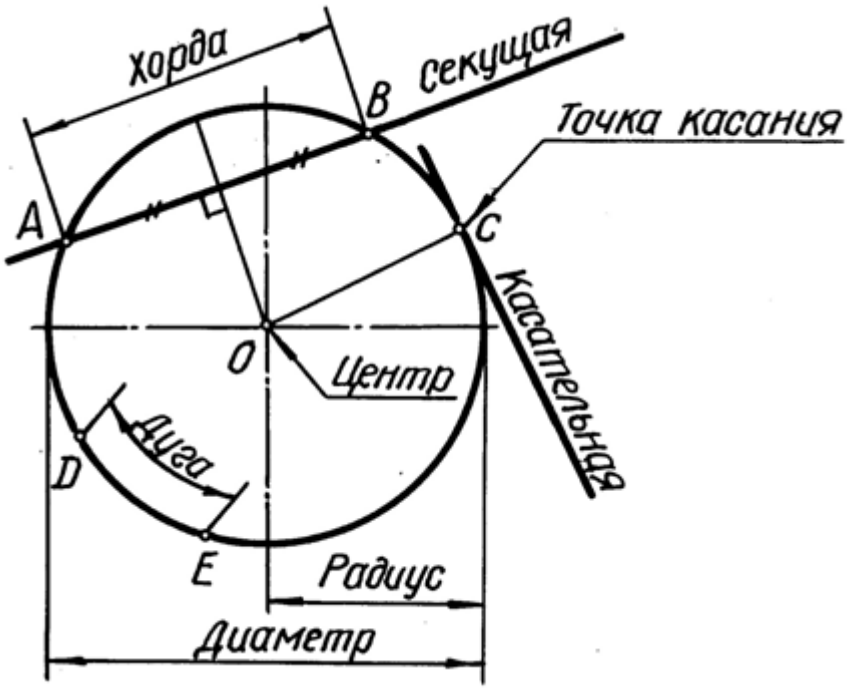


Рис. 8

При выполнении чертежей часто нужно делить окружность на несколько равных частей. Правильные многоугольники также строят при помощи деления окружности на равные части (рис. 9).

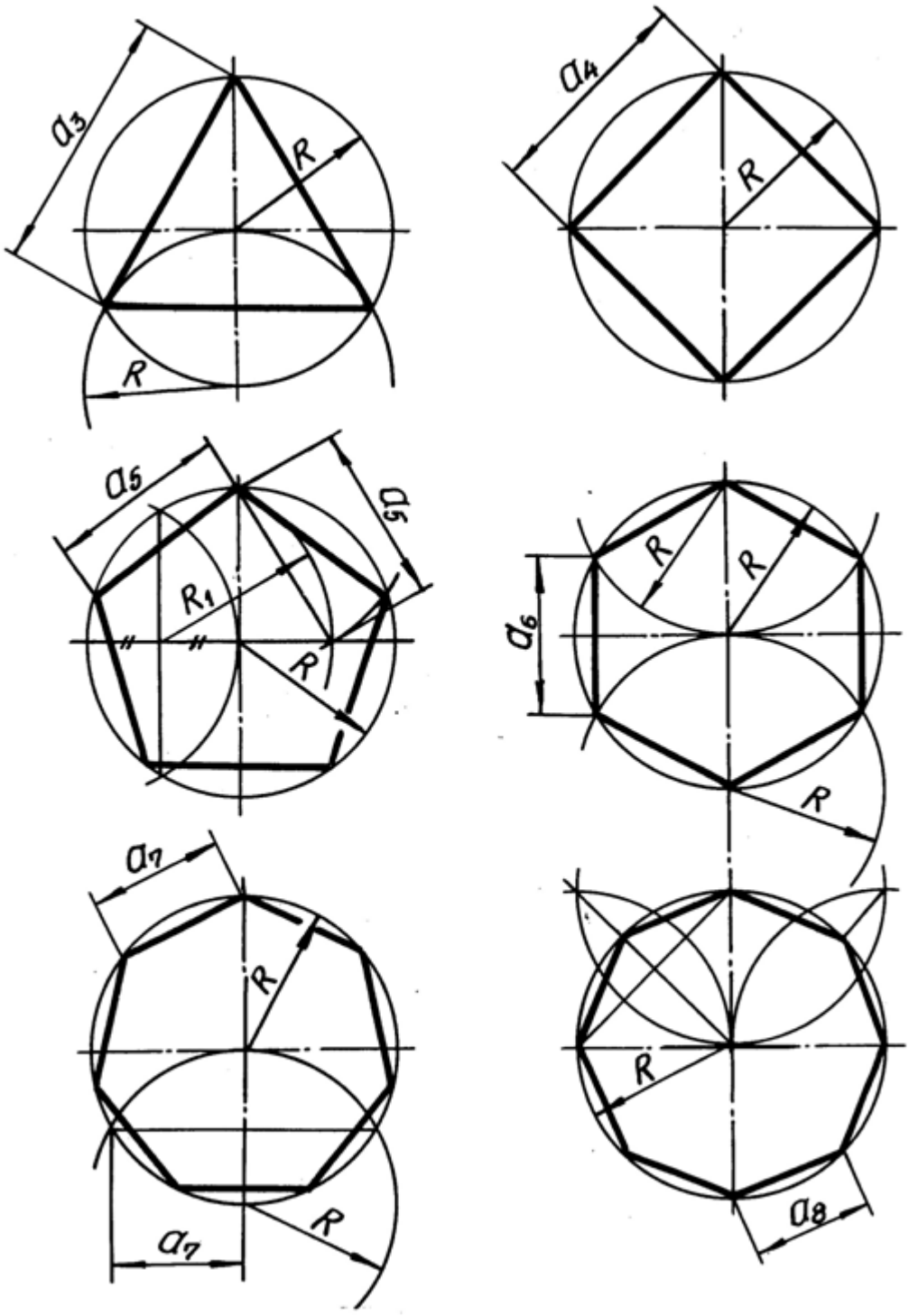


Рис. 9

Задача 3.1. Найти центр заданной дуги.

Центр окружности, которой принадлежит дуга, находят следующим образом. На дуге выбирают три произвольные точки *A*, *B*, *C* (рис. 10), которые соединяют хордами *AB* и *CB*. Через середины хорд проводят к ним перпендикуляры, в точке пересечения которых получают центр окружности (точку О).

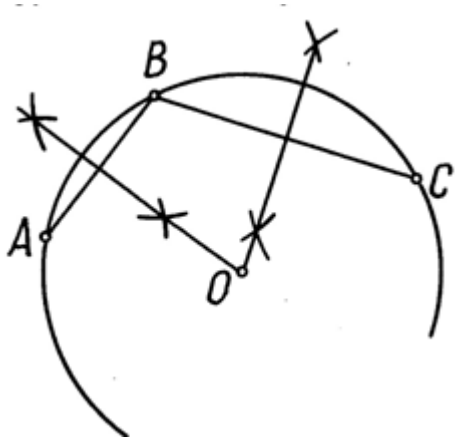


Рис. 10

Задача 3.2. Провести касательную к окружности через заданную точку *A* (рис. 11).

Строят вспомогательную окружность, диаметр которой равен расстоянию от точки *A* до центра *O*. Отмечают точки пересечения вспомогательной и данной окружностей *B* и *C*, которые соединяют с точкой *A*. Эти прямые *AB* и *AC* – искомые касательные, т. к. $\angle OBA$ и $\angle OCA$=90°.

Задача имеет два решения.

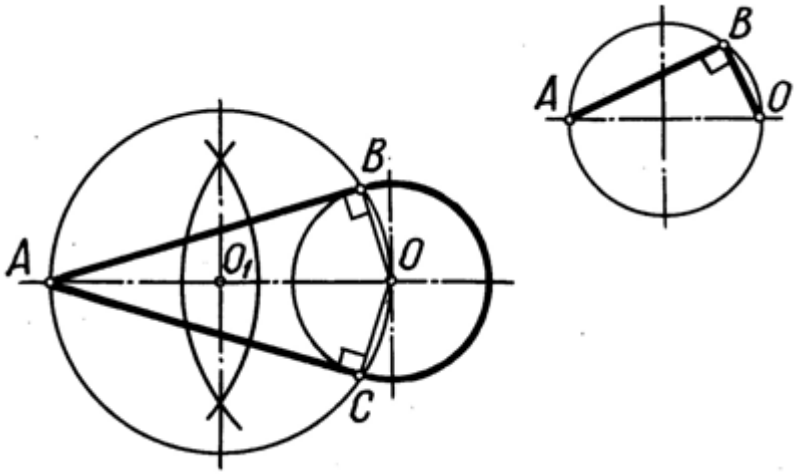


Рис. 11

4. СОПРЯЖЕНИЯ

Сопряжения – это плавные переходы от одной линии к другой.

Общая для этих линий точка называется точкой сопряжения или точкой перехода.

Построение сопряжений базируется на геометрических положениях о прямых, касательных к окружности, и об окружностях, касательных друг к другу. Сущность этих положений следующая:

1. для сопряжения прямой и дуги необходимо, чтобы центр окружности, которой принадлежит дуга, лежал на перпендикуляре, восстановленном к прямой в точке касания (рис. 12);

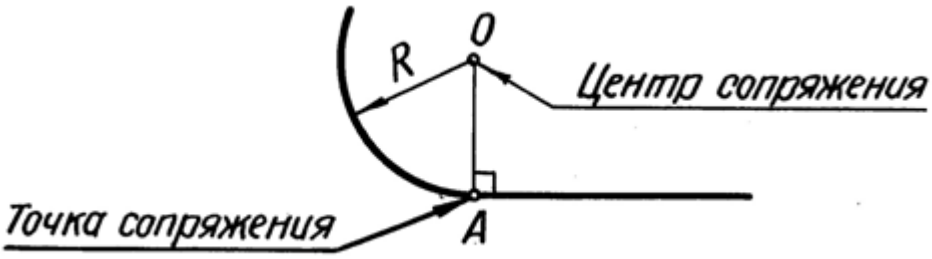


Рис. 12

2. точка сопряжения двух дуг лежит на линии их центров, перпендикулярной к общей касательной этих дуг в точке их касания или сопряжения (рис. 13).

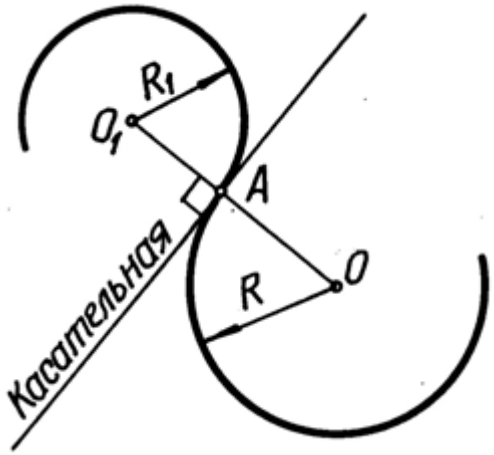


Рис. 13

В практике выполнения чертежей приходится сталкиваться с различными случаями сопряжения.

Все задачи на построение сопряжений решаются в следующем порядке:

1. определение центра сопряжения;
2. определение точек сопряжения (касания);
3. проведение дуги сопряжения заданного радиуса.

4.1. СОПРЯЖЕНИЯ ПРЯМЫХ ЛИНИЙ

Для определения центра сопряжения – точки, равноудаленной от заданных прямых, проводим прямые, параллельные заданным и отстоящие от них на расстоянии радиуса, которые являются геометрическими местами точек, удаленных от заданных прямых на расстоянии радиуса. Пересечение этих прямых дает центр сопряжения *O*. Заметим, что центр сопряжения точка *O* может быть задана в пересечении биссектрисы угла, образованного заданными прямыми, с прямой, параллельной одной из сторон угла.

Для определения точек касания *A* и *B* – точек плавного перехода от прямых к сопрягаемой дуге – опускают перпендикуляры из точки *O* на заданные прямые. Из центра сопряжения *O* проводят дугу сопряжения радиусом *R* (рис. 14).

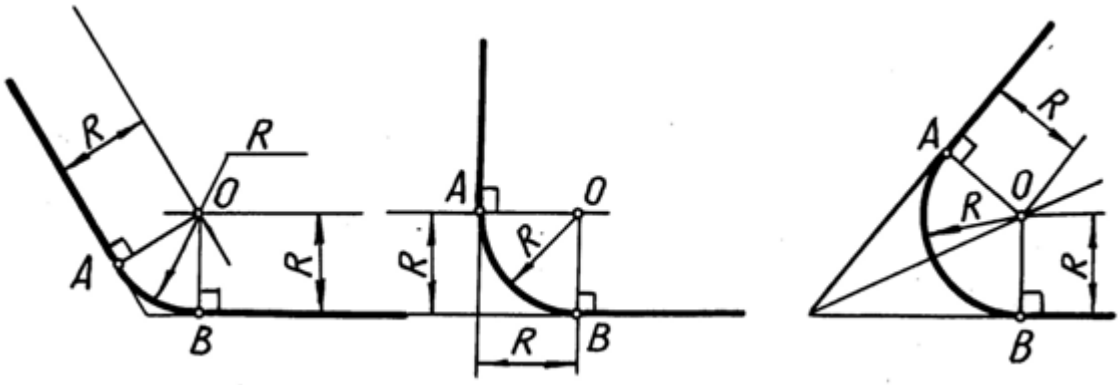
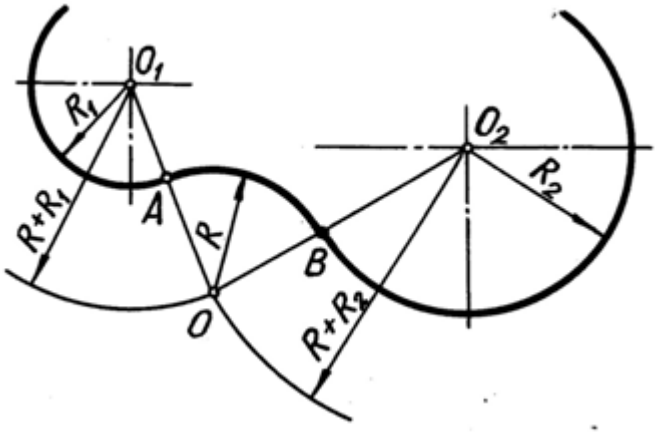


Рис. 14

4.2. СОПРЯЖЕНИЯ ОКРУЖНОСТЕЙ

ВНЕШНЕЕ СОПРЯЖЕНИЕ (рис. 15). Под внешним сопряжением двух дуг понимают такое сопряжение, когда сопрягаемые дуги и дуга сопряжения находятся по разные стороны от общей касательной и дуга сопряжение является вогнутой по отношению к сопрягаемым дугам.

Расстояние от центра сопряжения до центров исходных дуг равно сумме радиусов. Центр сопряжения точка O получена в пересечении двух дуг, проведенных из центров O_1 и O_2 радиусами $R+R_1$ и $R+R_2$. Соединяя точку O с точками O_1 и O_2, получаем точки сопряжения A и B. Из центра O радиусом R проводим дугу сопряжения от A до B.



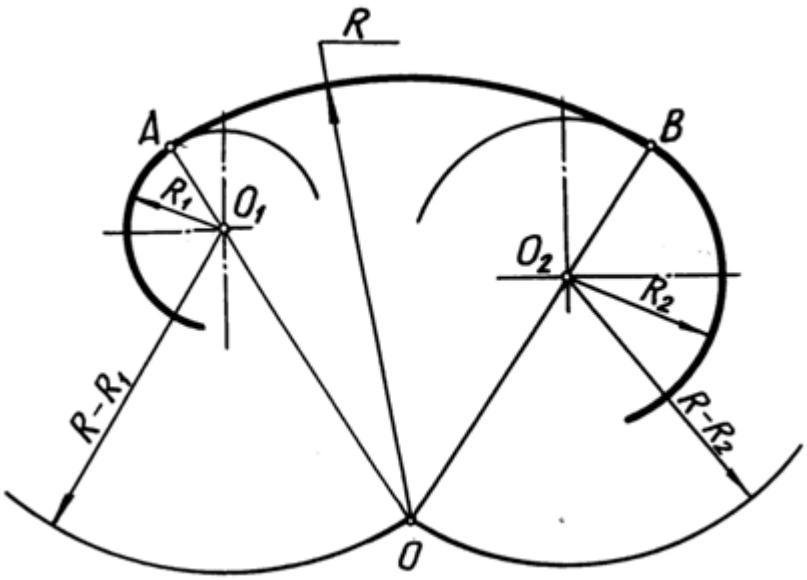
$OO_1 = R + R_1$

$OO_2 = R + R_2$

Рис. 15

ВНУТРЕННЕЕ СОПРЯЖЕНИЕ (рис. 16). При внутреннем сопряжении и сопрягаемые дуги и дуга сопряжения находятся по одну сторону от общей касательной, и дуга сопряжения является выпуклой по отношению к сопрягаемым дугам.

Расстояние от центра сопряжения до центров исходных дуг равно разности радиусов. Центр сопряжения точка O получена в пересечении двух дуг, проведенных из центров O_1 и O_2 радиусами $R-R_1$ и $R-R_2$. Соединяя точку O с точками O_1 и O_2, получаем точки сопряжения A и B. Из центра O проводим дугу сопряжения радиусом R от A до B.



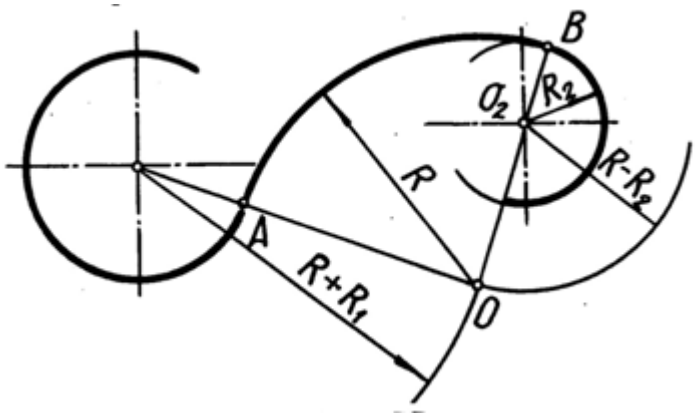
$OO_1 = R - R_1$

$OO_2 = R - R_2$

Рис. 16

СМЕШАННОЕ СОПРЯЖЕНИЕ (рис. 17). При смешанном сопряжении дуга сопряжения является по отношению к одной сопрягаемой дуге вогнутой (внешнее сопряжение), а по отношению к другой – выпуклой (внутреннее сопряжение).

Такое сопряжение содержит элементы сопряжения двух предыдущих видов. В этом случае также проводятся две вспомогательные дуги. Одна дуга равна сумме радиусов дуг сопрягаемой и сопряжения, а другая – разности радиусов дуг сопряжения и сопрягаемой. остальные построения аналогичны рассмотренным.



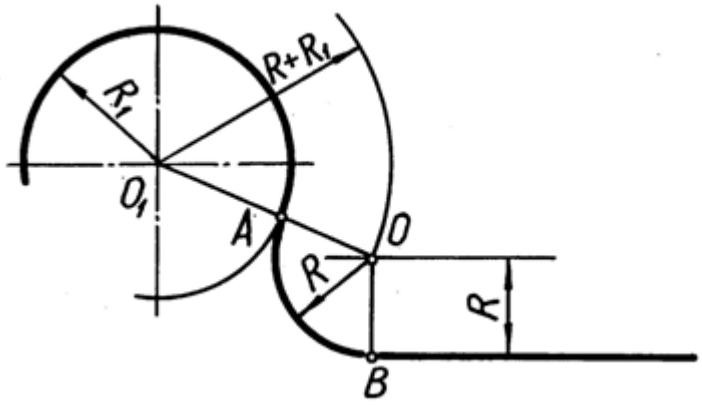
$OO_1 = R + R_1$

$OO_2 = R - R_2$

Рис. 17

4.3. СОПРЯЖЕНИЕ ПРЯМОЙ ЛИНИИ И ОКРУЖНОСТИ

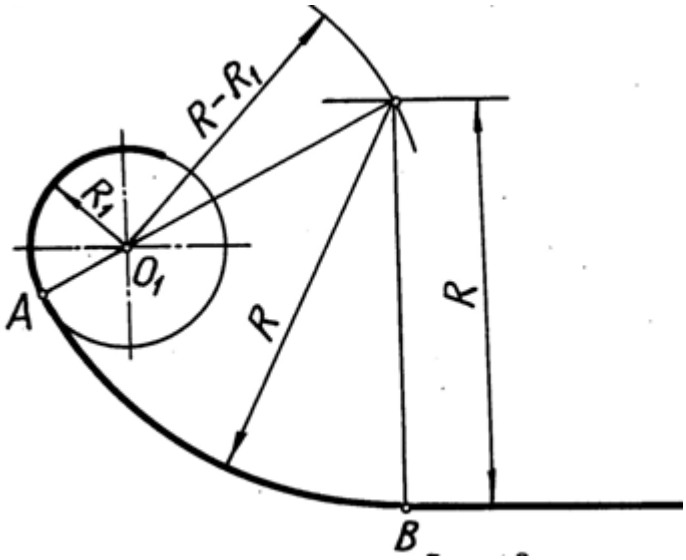
ВНЕШНЕЕ СОПРЯЖЕНИЕ (рис. 18). Центр сопряжения получают в пересечении прямой, параллельной заданной и отстоящей от нее на расстоянии, равном радиусу сопряжения, с дугой, проведенной из центра окружности радиусом $R+R_1$. Построение точек касания A и B видно на чертеже. Из центра O между точками касания проводим дугу сопряжения.



$OO_1=R+R_1$

Рис. 18

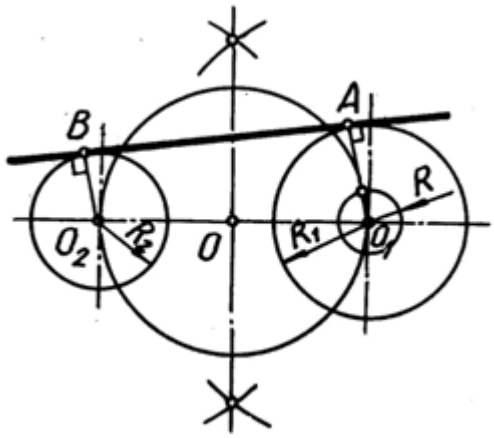
ВНУТРЕННЕЕ СОПРЯЖЕНИЕ (рис. 19). Центр сопряжения получают в пересечении прямой, параллельной заданной и отстоящей от нее на расстоянии, равном радиусу сопряжения, с дугой, проведенной из центра окружности радиусом $R - R_1$.



$OO_1=R - R_1$

Рис. 19

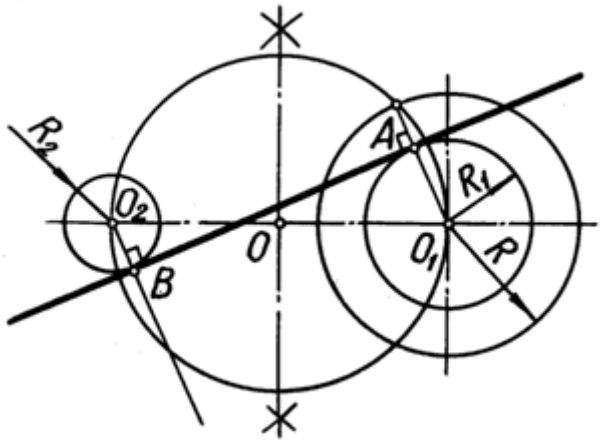
ВНЕШНЯЯ КАСАТЕЛЬНАЯ К ОКРУЖНОСТЯМ (рис. 20). Строят вспомогательную окружность, диаметр которой равен расстоянию между центрами исходных окружностей. Из центра большей окружности проводят дугу, радиус которой равен разности радиусов окружностей, до пересечения со вспомогательной окружностью. Прямая, проходящая через центр большей окружности и точку пересечения вспомогательных, определяет направление перпендикуляров к касательной (рис. 11).



$R = R_1 - R_2$

Рис. 20

ВНУТРЕННЯЯ КАСАТЕЛЬНАЯ К ОКРУЖНОСТЯМ (рис. 20). Строят вспомогательную окружность, диаметр которой равен расстоянию между центрами данных окружностей. Из центра одной из окружностей проводят дугу, радиус которой равен сумме радиусов окружностей, до пересечения со вспомогательной окружностью. Прямая, проходящая через центр окружности и точку пересечения вспомогательных, определяет направление перпендикуляров к касательной.



$R = R_1 + R_2$

Рис. 21

5. ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ ОКРУЖНОСТИ

Аксонометрические проекции применяют для наглядной передачи формы предметов и изделий.

Наиболее сложной плоской кривой для вычерчивания в аксонометрии является окружность. При аксонометрическом проецировании окружность изображается в виде эллипса. Направление главных осей эллипса зависит от положения плоскости, в которой расположена проецируемая окружность. Если плоскость окружности параллельна плоскости, содержащей две любые аксонометрические оси, то направление осей эллипса определяют по направлению третьей отсутствующей аксонометрической оси: большая ось ей перпендикулярна, а малая параллельна (рис. 22).

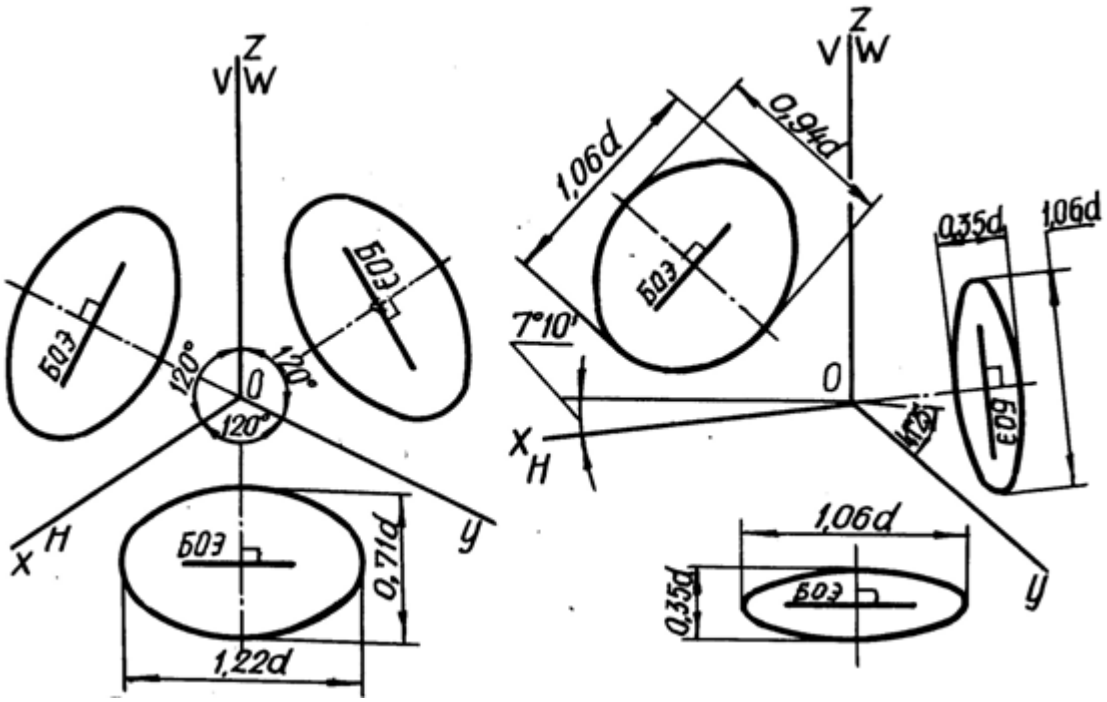


Рис. 22

В машиностроительном черчении построение эллипсов заменяют четырехцентровым овалом, так как это упрощает вычерчивание. В чертежах всех отраслей промышленности чаще применяют прямоугольные аксонометрические проекции: изометрическую и диметрическую.

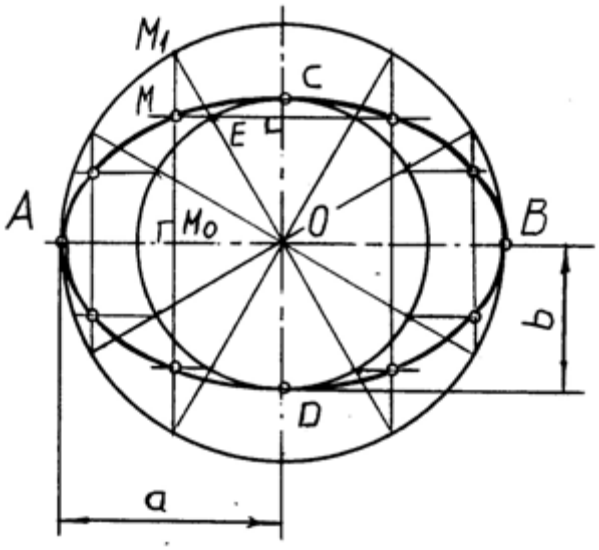


Рис. 23

Построение эллипса в начертательной геометрии выполняется при помощи двух концентрических окружностей, проведенных радиусами: *a* – большая полуось и *b* – малая полуось.

Из центра эллипса *O* проводятся несколько прямых линий, которые делят окружности на некоторое число частей. Из полученных точек проводят перпендикуляры: из точки на окружности большего диаметра опускают перпендикуляр на большую ось эллипса *AB*, а из точки на окружности меньшего диаметра опускают перпендикуляр на малую ось эллипса *CD*. При пересечении этих двух перпендикуляров получаются точки, принадлежащие эллипсу. Полученные точки соединяют плавной кривой при помощи лекала.

Эллипс симметричен относительно своих осей и относительно центра *O*, поэтому, построив какую-либо точку эллипса, можно построить еще три точки, симметричные найденной.

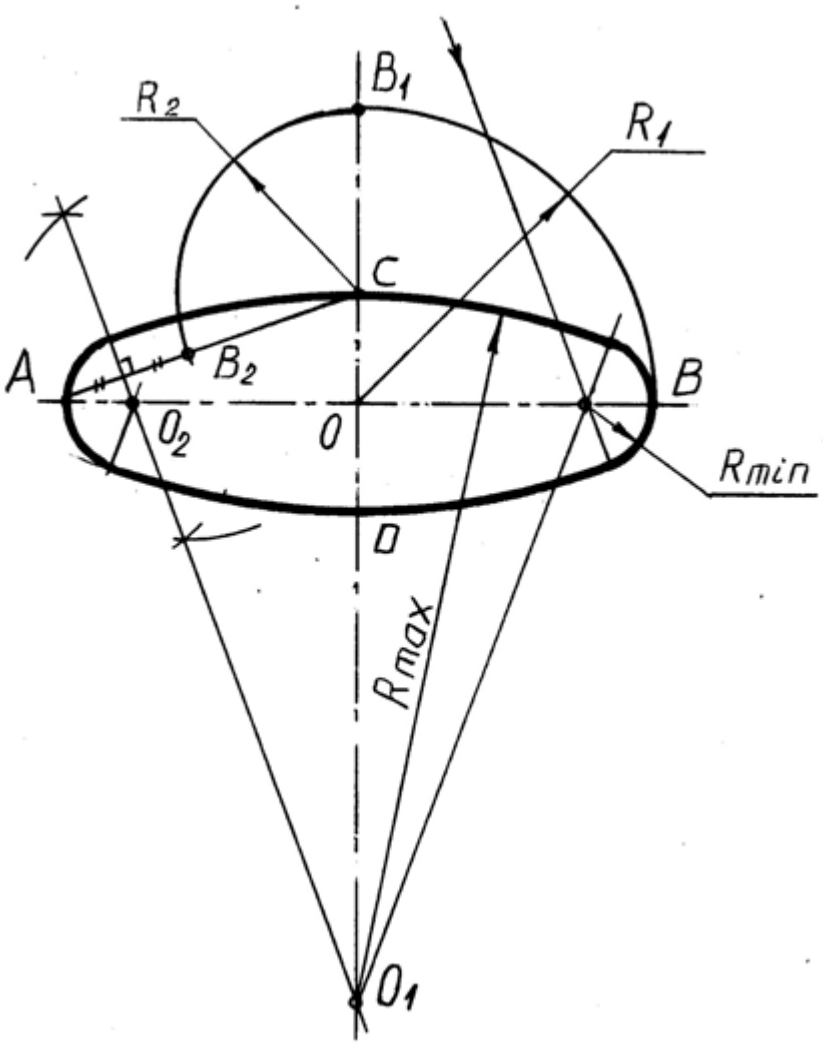


Рис. 24

На рис. 24 показано построение четырехцентрового овала, заменяющего изображение эллипса, при выполнении аксонометрических проекций деталей в машиностроительном черчении.

Известны размеры большой *AB* и малой *CD* осей эллипса. На линии, соединяющей точки *A* и *C*, откладывается полуразность большой и малой осей эллипса: $OB\text{-}OC=CB_1$, $CB_1=CB_2$. К середине отрезка *AB* проводится перпендикуляр до пересечения с большой и малой осями эллипса. Точки O_1 и O_2 являются центрами дуг, имеющими радиусы R_{max} и R_{min}.

5.1. ОВАЛЫ, ЗАМЕНЯЮЩИЕ ЭЛЛИПСЫ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ИЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Положение осей аксонометрии приведено на рис. 25. Построение основано на правиле деления окружности на три равные части (рис. 9).

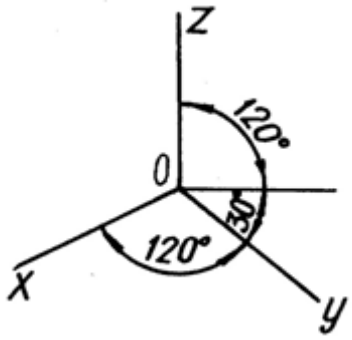


Рис. 25

Коэффициент искажения по осям *x*, *y*, *z* равен 0,82. Изометрическую проекцию для упрощения, как правило, выполняют без искажения по осям *x*, *y*, *z*, т. е. приняв коэффициент искажения равным 1.

Если изометрическую проекцию выполняют без искажения по осям, то большая ось эллипса равна 1,22, а малая ось – 0,71 диаметра окружности. На рис. 26 показан графический способ определения большой и малой осей изометрического эллипса.

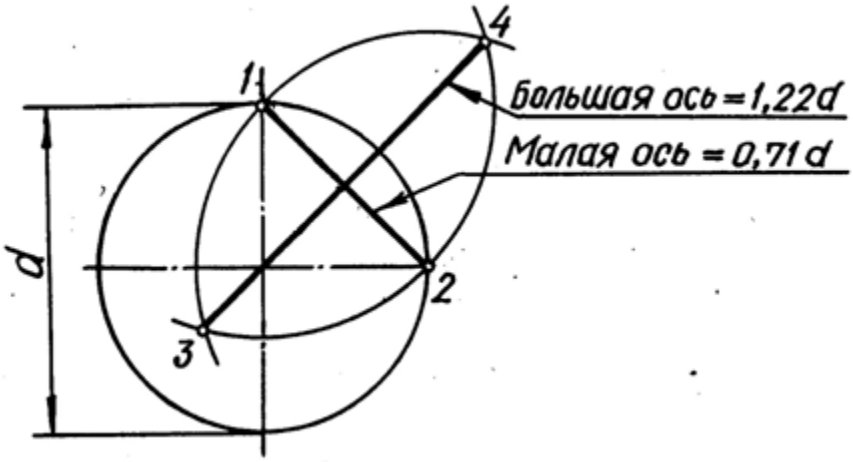


Рис. 26

На рис. 27 показан один из многих способов построения четырехцентрового овала по большой и малой осям эллипса.

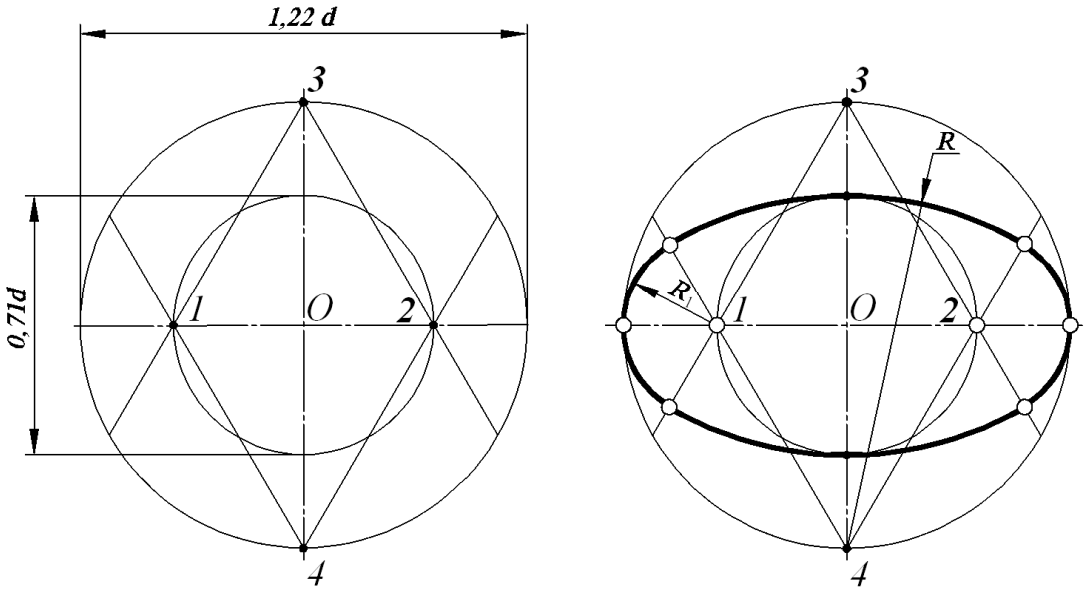


Рис. 27

Четырехцентровый овал - плоская, замкнутая кривая образуется сопряжением двух дуг, проведенных из четырех центров.

Наиболее простой, но менее точно передающий форму эллипса способ построения четырехцентрового овала состоит из следующих операций: 1. проводят окружность исходного диаметра; 2. строят аксонометрические оси, а также указывают направление большой и малой осей овала, заменяющего эллипс; 3. отмечают центры дуг, проведя прямые, соединяющие точки пересечения окружности с осями аксонометрии и с направлением большой оси эллипса; 4. проводят дуги радиусами R и R_1 из четырех центров (рис. 28).

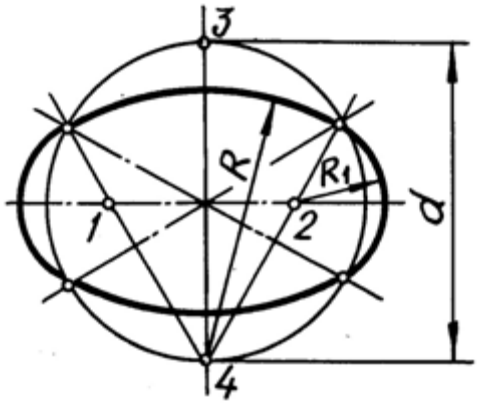


Рис. 28

На рис. 29 представлен пример выполнения изображения детали в прямоугольной изометрии.

При нанесении размеров на чертежах, выполненных в аксонометрических проекциях, выносные линии проводят параллельно аксонометрическим осям, размерные линии – параллельно измеряемому отрезку.

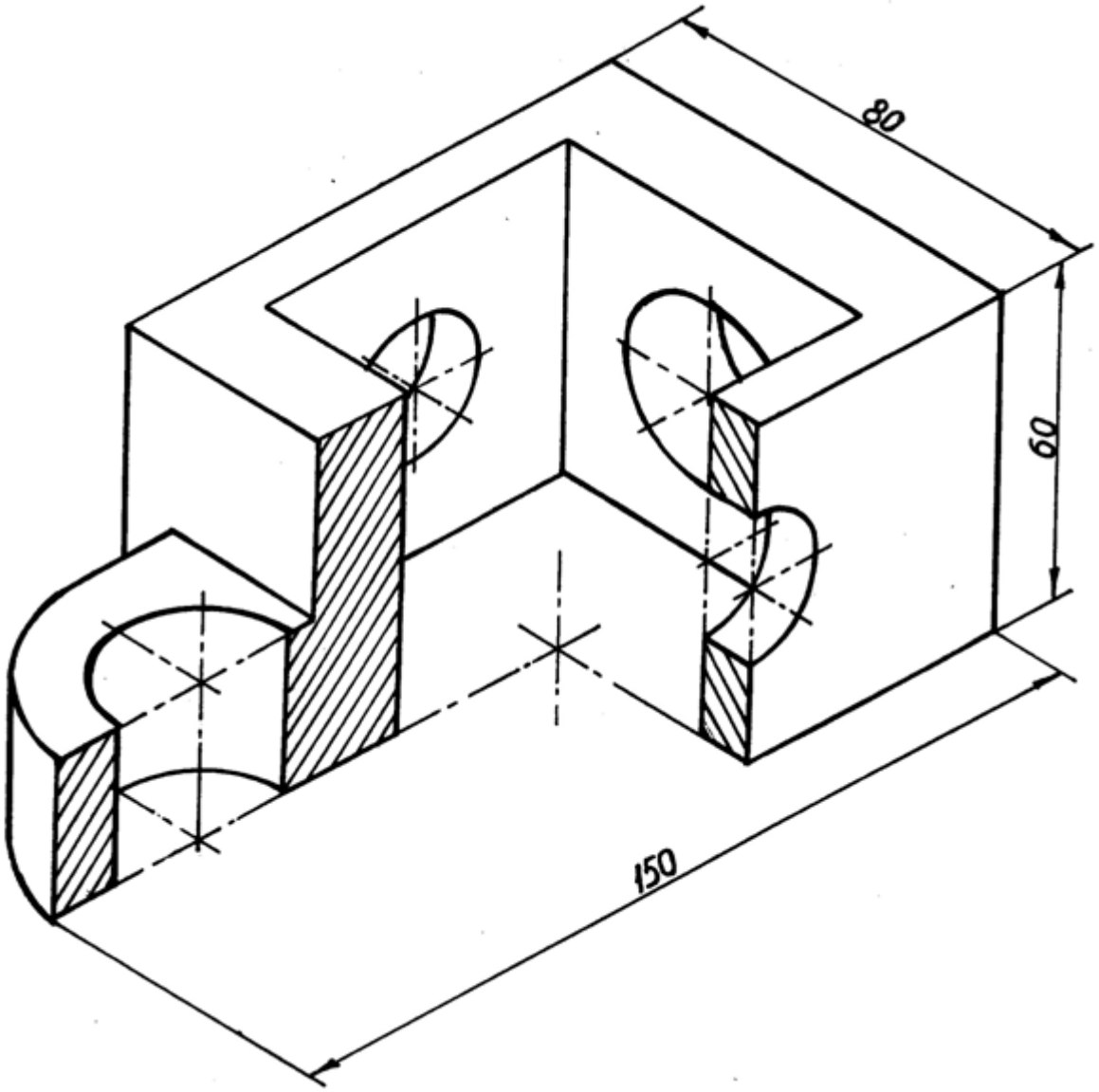


Рис. 29

Линии штриховки сечений в аксонометрических проекциях наносят параллельно одной из гипотенуз равнобедренных треугольников, лежащих в соответствующих координатных плоскостях, стороны которых параллельны аксонометрическим осям.

5.2. ОВАЛЫ, ЗАМЕНЯЮЩИЕ ЭЛЛИПСЫ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ДИМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

Положение осей аксонометрии приведено на (рис. 30). Построение основано на правиле вычерчивания наклонных прямых по тангенсам углов:

$tg\,7°10' = \frac{1}{8}$, $tg\,41°25' = \frac{7}{8}$ (рис. 5).

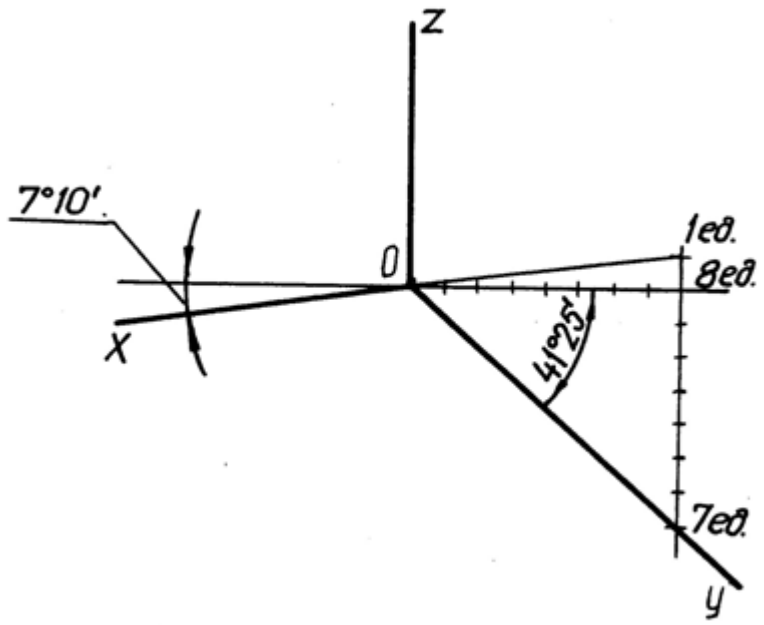


Рис. 30

Коэффициент искажения по оси $y = 0{,}47$, а по оси x и z – 0,94. Диметрическую проекцию, как правило, выполняют без искажения по осям x и z, и с коэффициентом искажения 0,5 по оси y.

Если диметрическую проекцию выполняют без искажения по осям x и z, то большая ось эллипсов равна 1,06 диаметра окружности, а малая ось эллипса в плоскости xOz – 0,95 и эллипсов в плоскости yOz и yOx – 0,35 диаметра окружности.

На рис. 31 дано построение диметрического овала для окружностей диаметра d, расположенного в плоскости xOz. Последовательность выполнения следующая: 1. через центр окружности точку O проводим оси Oz и Ox плоскости, содержащей данную окружность. Направление малой оси эллипса совпадает с направлением оси Oy, направление большой оси эллипса перпендикулярно к оси Oy, отсут-

ствующей в этой плоскости; 2. проводим окружность исходного диаметра и отмечаем точки ее пересечения с осью *OX*, из которых проводятся горизонтальные прямые до пересечения с большой и малой осями эллипса, полученные точки и являются центрами овала; 3. из центров 2 и 4 радиусом, равным *R*, проводим первую пару дуг, а из центров 1 и 3 - вторую пару дуг радиусом R_1, границей дуг являются аксонометрические оси.

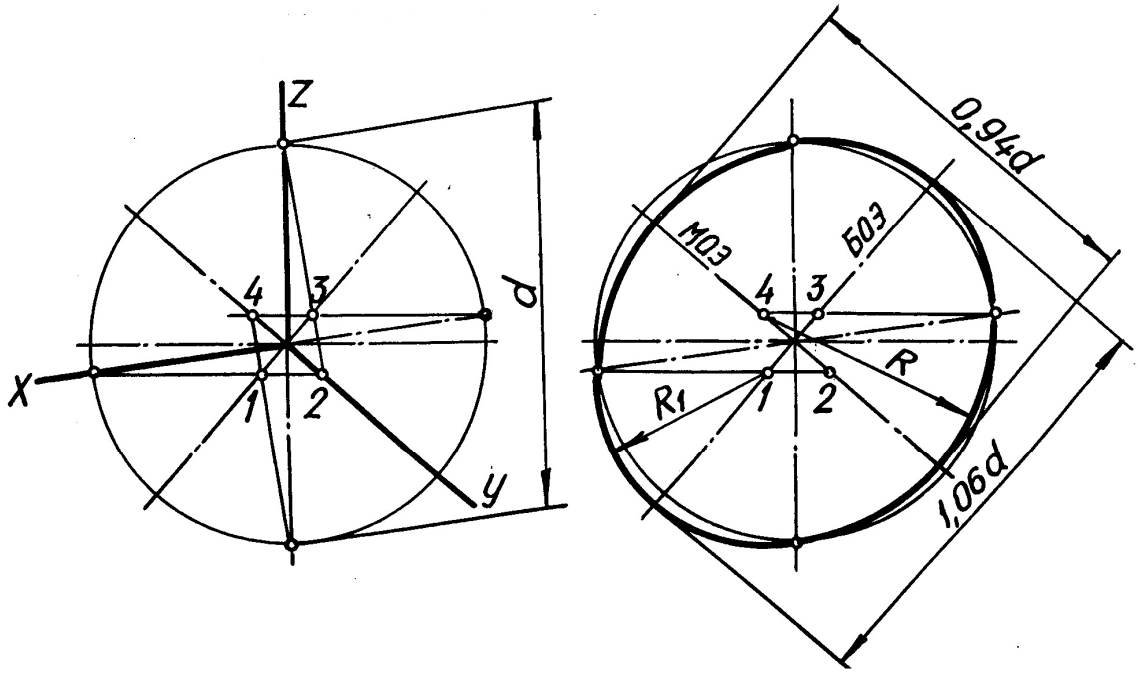


Рис. 31

На рис. 32 дано построение диметрического овала для окружности диаметра *d*, расположенного в плоскостях *xOy* и *zOy*. Последовательность выполнения следующая: 1. через центр окружности точку *O* проводим аксонометрические оси, прямую, указывающую направление большой оси эллипса, т. е. перпендикулярно отсутствующей оси в заданной плоскости; 2. проводим окружность исходного диаметра отмечаем точки пересечения с осью *OX* (осью, повернутой относительно большой оси эллипса на угол 7°10′) и прямой, симметричной ей – точки сопряжения дуг; 3. на прямой, указывающей направление малой оси эллипса, вверх и вниз от центра окружности откладываем отрезки, равные 1,06*d*, т. е. большой оси эллипса, получаем два центра дуг

большего радиуса; соединим полученные центры сточками, расположенными на окружности, пересечение проведенных прямых с направлением большой оси эллипса дает еще два центра дуг малого радиуса; 5. проводим дуги радиусами R и R_1.

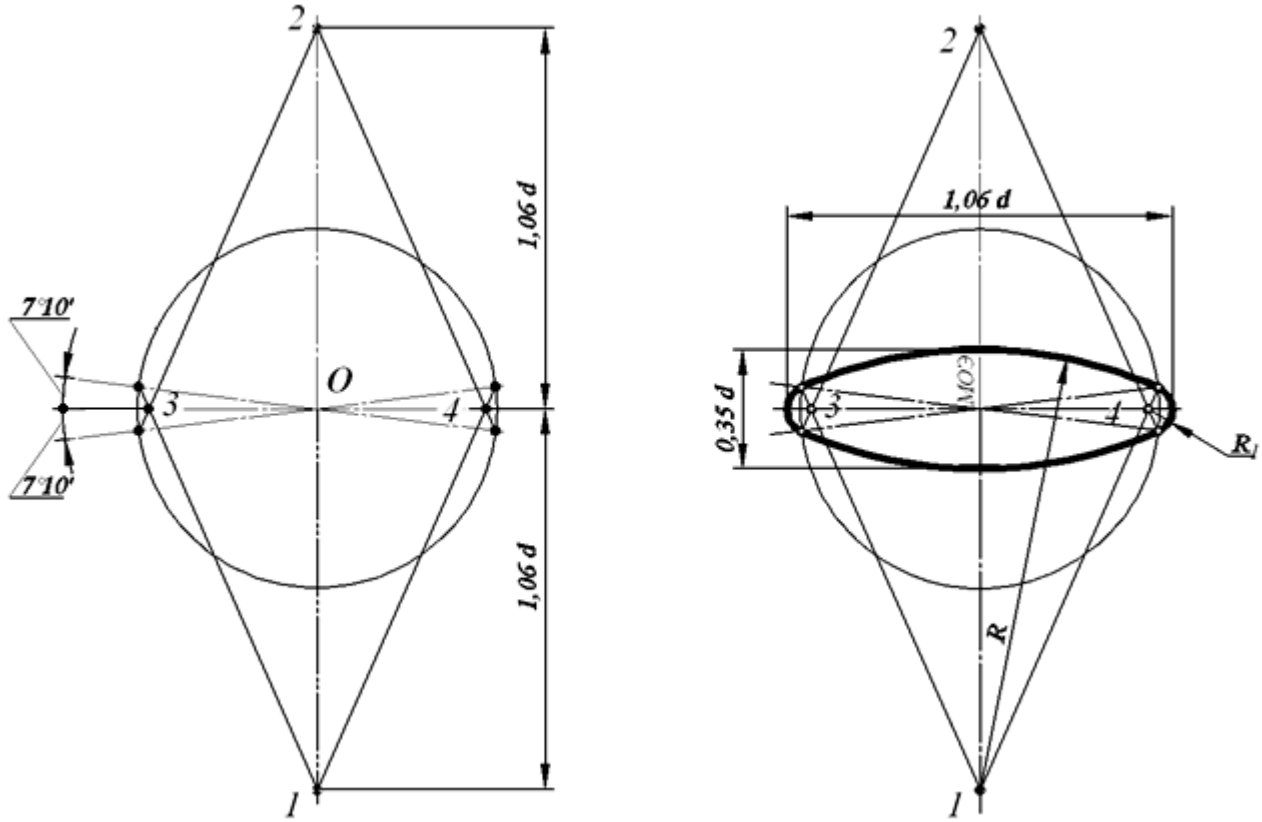


Рис. 32

В учебной литературе приведено несколько способов построения четырехцентровых овалов, заменяющих эллипсы, которые можно использовать как при выполнении задания по геометрическому черчению, так и при вычерчивании других работ.

Следует помнить, что при нанесении размеров в аксонометрии, размерные и выносные линии должны быть расположены параллельно аксонометрическим осям.

На рис. 33 представлено изображение детали в прямоугольной диметрической проекции.

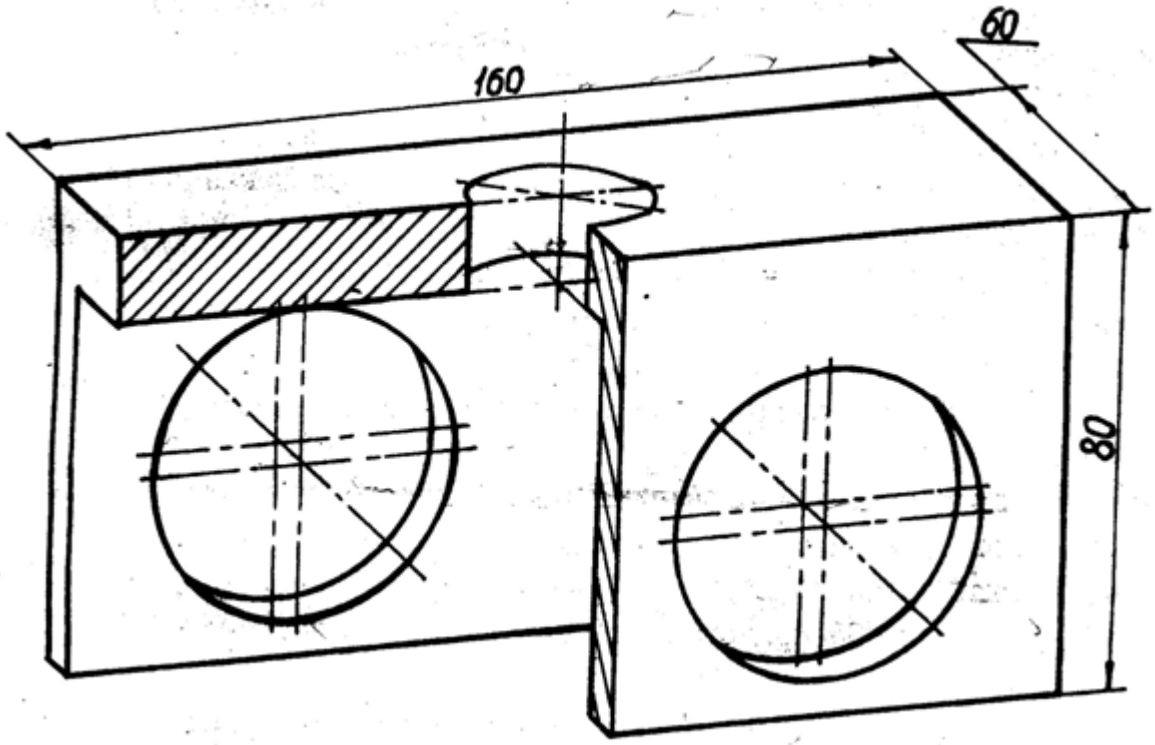


Рис. 33

6. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ЧЕРТЕЖЕЙ

Все чертежи любого назначение и содержания необходимо оформлять по правилам, установленным ЕСКД – Единой системой конструкторской документации.

К оформлению чертежей относят форматы по ГОСТ 2.301-68, масштабы по ГОСТ 2.302-68, линии по ГОСТ 2.303-68, шрифт по ГОСТ 2.304-81 и основную надпись по ГОСТ 2.104-68.

Чертежным форматом называется размер конструкторского документа. Лист бумаги, как правило, больше по размерам, чем формат, установленный ГОСТом.

Форматы листов определяются размерами внешней рамки чертежа, которую обводят тонкой линией. На рис. 34 показано оформление чертежа.

На всех конструкторских документах в правом нижнем углу помещают основную надпись. На листах формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны, а на листах других форматов – справа вдоль короткой или длинной стороны листа.

На всех чертежах и других технических документах все надписи, т. е. буквы и цифры, выполняют стандартным чертежным шрифтом. Высота прописной буквы в миллиметрах определяет размер шрифта. На рис. 35 представлен шрифт типа Б с наклоном 75°, применяемый в машиностроении.

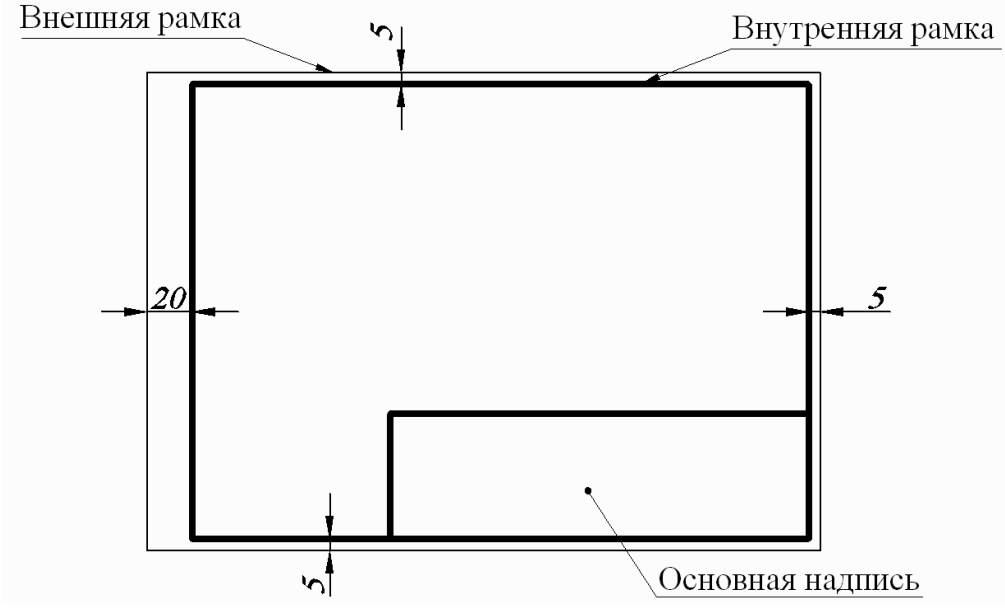


Рис. 34


АБВГДЕЖЗИЙК
ЛМНОПРСТУФХ
ЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ
абвгдежзийкл
мнопрстуфхцч
шщъыьэюя
1234567890 ф
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Студент Голомонзина
Консульт. Белоносова
Рук. Белоносова
Н. контр.
Зав. каф. Шангина Е.И.
ШРИФТ
Лит. Масса Масштаб
Лист Листов
УГГУ РМ
Кафедра инженерной графики

Рис. 35

ЛИТЕРАТУРА

1. Манцветова И. В., Маянц Д. Ю., Галиченко К. Я., Ляшкевич К. К. Проекционное черчение с задачами. – Минск: Высшая школа, 1978.

2. Соловьев С. А., Буланже Г. В., Шульга А. К. Задачник по черчению и перспективе. – М.: Высшая школа, 1978.

3. ГОСТ 2.301-68 и др. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей: Сборник. – Введ. с 01.01.71. – Переизд. Апрель 1991.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Прямая линия	3
2.	Угол, уклон и конусность	4
3.	Окружность и ее элементы	7
4.	Сопряжения	10
5.	Построение аксонометрической проекции окружности	16
6.	Основные сведения по оформлению чертежей	26

Белоносова Ирина Борисовна

Геометрическое черчение
Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Начертательная геометрия.
Инженерная графика» для студентов всех специальностей:

Часть 1

Корректура кафедры инженерной графики

Подписано в печать г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16
Печ. л. 1,9 Уч. - изд. 1,11. Тираж 60 экз. Заказ №29

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Лаборатория множительной техники

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

Б1.Б.14 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Направленность (профиль)
Производство и реновация машин и оборудования

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Насолдина И. Ю. ассистент

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Инженерной графики	горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Шангина Е. И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 5 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….....3

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ……...4

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ ……7

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ …….. ……11

ВВЕДЕНИЕ

Зубчатые передачи широко применяются в различных механизмах для передачи вращательного момента от одного вала к другому. Основной деталью зубчатой передачи является зубчатое колесо.

Данное методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам при выполнении чертежа зубчатого колеса, который является частью задания «Условности машиностроительного черчения».

При выполнении этого чертежа студент должен ознакомиться с элементами конструкции зубчатого колеса, его основными параметрами, а также с особенностями, условностями и упрощениями, применяемыми при построении изображений зубчатых колес.

Работа содержит основные сведения о функциональном назначении и конструктивных особенностях зубчатых колес различного применения, а также соотношения между основными параметрами цилиндрического зубчатого колеса; приведена методика определения размеров основных конструктивных элементов зубчатого колеса в зависимости от величины модуля и количества зубьев.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСАХ

Зубчатые зацепления широко распространены в технике. Они служат для передачи вращательного момента от одного вала к другому. Оси вращения валов могут располагаться параллельно друг другу, а также пересекаться или скрещиваться между собой. Если зубчатые передачи состоят из двух колес, то колесо, которое передает момент другому колесу, называется ведущим, а второе называется ведомым. В зависимости от соотношения числа зубьев ведущего и ведомого колес изменяется частота вращения вала ведомого колеса.

Кроме того, зубчатые колеса могут применяться для преобразования вращательного движения в поступательное. В этом случае зубчатая передача называется реечной и состоит из зубчатого колеса и рейки.

В зубчатых передачах усилие от одного колеса к другому передается посредством зубьев, последовательно вступающих в контакт друг с другом. В зависимости от функционального назначения и условий работы зубья могут иметь различную форму и расположение относительно оси колеса.

На рис. 1 показаны зубчатые зацепления с различной формой зубьев:

а) цилиндрическая передача с прямыми зубъями;

б) цилиндрическая передача с косыми зубьями;

в) цилиндрическая передача с шевронными зубьями;

г) коническая передача с прямыми зубьями.

В зависимости от формы профиля зуба передачи подразделяются на эвольвентные, неэвольвентные (передачи Новикова) и циклоидальные.

На рис. 2 показано зубчатое колесо с эвольвентным профилем зуба.

Основными параметрами зубчатого колеса являются: диаметр делительной окружности $\boldsymbol{d}$, модуль $\boldsymbol{m}$ и число зубьев $\boldsymbol{z}$.

Диаметр делительной окружности $\boldsymbol{d}$ равен диаметру цилиндрической поверхности, которая делит зубья на головку и ножку. Окружной шаг зацепления зубьев $\boldsymbol{P_t}$ (рис. 2) представляет собой расстояние между

одноименными точками профиля соседних зубьев по дуге делительной окружности.

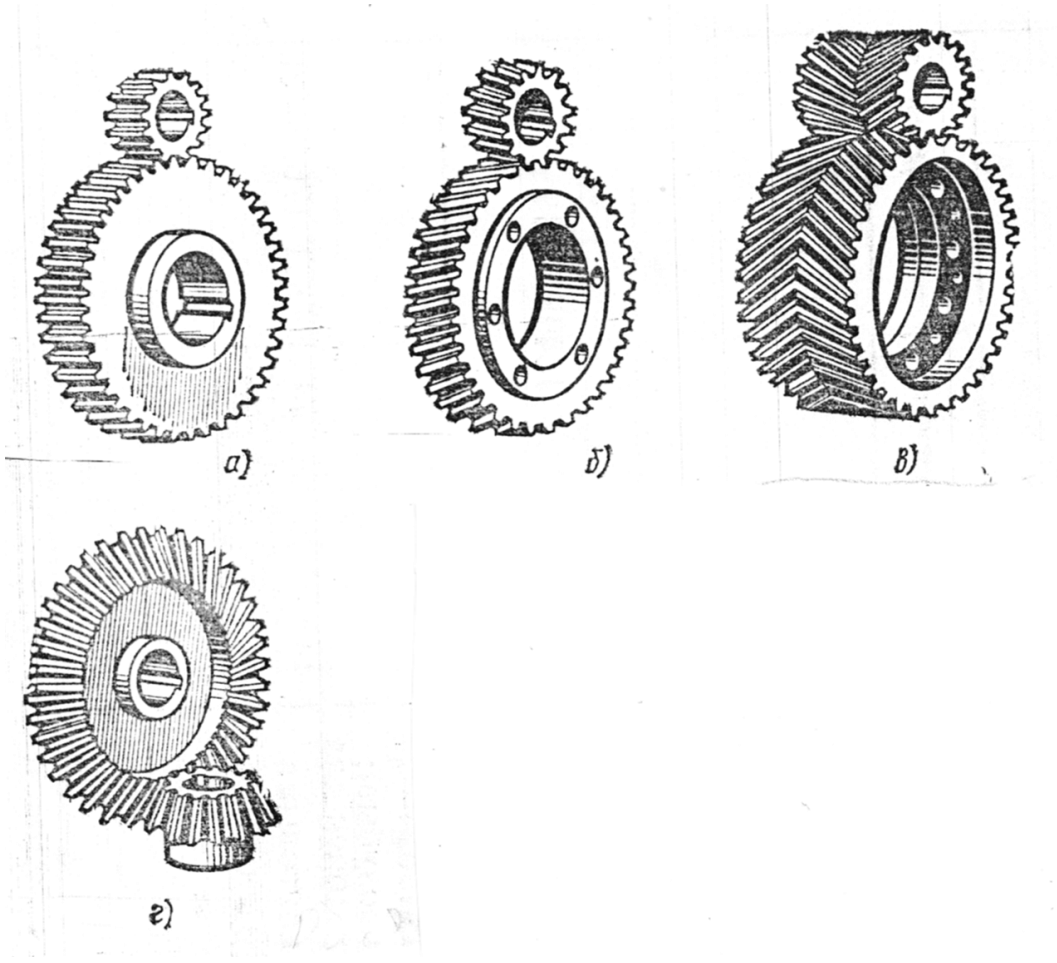


Рис. 1. Зубчатые зацепления

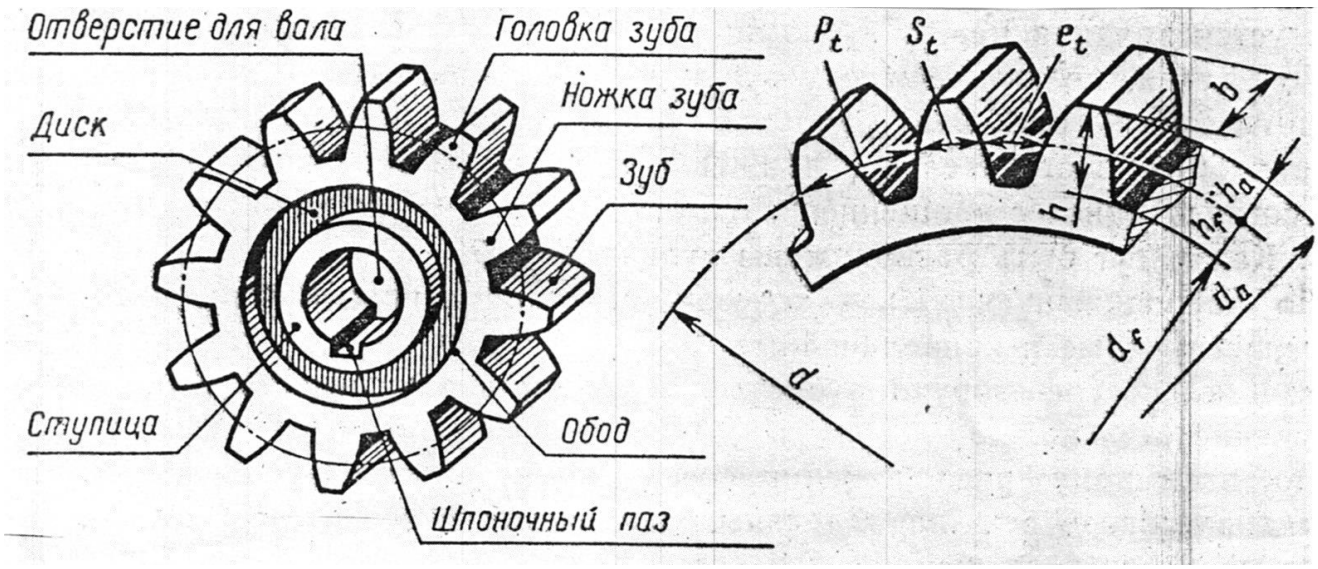


Рис. 2. Зубчатое колесо с эвольвентным профилем зуба

Величина P_t делится поверхностями соседних зубьев на две равные части окружную толщину зуба S_t и окружную ширину впадины ℓ_t (рис. 2).

Длина делительной окружности, таким образом, равна произведению окружного шага зацепления на число зубьев

$$\pi d = P_t \cdot z \qquad (1)$$

Модулем зубчатого колеса называется отношение окружного шага зацепления P_t к величине π

$$m = \frac{P_t}{\pi} \qquad (2)$$

На основании уравнений (1) и (2) можно сделать вывод, что

$$d = mz \qquad (3)$$

Величина модуля определяет размер зуба и рассчитывается в зависимости от момента вращения, передаваемого зубчатым колесом. Модуль является величиной стандартной и поэтому после расчета зуба на прочность конструктор выбирает величину модуля из таблицы в соответствии с ГОСТ 9563-60, ближайшую к расчетной.

Для эвольвентных цилиндрических зубчатых колес общего назначения высоту головки зуба h_a и величину ножки зуба h_f определяют по формулам

$$h_a = m, \qquad (4)$$

$$h_f = 1{,}25m. \qquad (5)$$

Таким образом, высота зуба

$$h = 2{,}25m. \qquad (6)$$

На основании уравнений (3) - (5) можно определить диаметр окружности впадин d_f и диаметр окружности выступов d_a

$$d_f = m(z - 2{,}5) \qquad (7)$$

$$d_a = m(z + 2) \qquad (8)$$

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

В табл. 1 приведены исходные данные для выполнения задания. В качестве исходных данных приведены два параметра зубчатого колеса: модуль ***m*** и число зубьев ***z***. Необходимо на основе этих данных определить размеры всех элементов цилиндрического зубчатого колеса. Диаметр делительной окружности, диаметры окружности впадин и выступов определяются по формулам (3), (7) - (8).

Таблица 1

Исходные данные

Номер варианта	***z***	***m***	Номер варианта	***z***	***m***
1	50	2	26	60	4
2	50	2,5	27	60	5
3	50	1,5	28	60	6
4	50	1,25	29	60	8
5	50	1	30	30	5
6	50	4	31	30	4
7	50	10	32	30	2
8	50	5	33	30	0,5
9	40	5	34	20	0,5
10	40	10	35	20	1
11	40	12	36	20	2
12	40	1	37	20	4
13	40	2	38	25	4
14	40	3	39	25	3
15	40	4	40	25	2
16	40	20	41	25	1
17	40	5	42	25	5
18	40	6	43	32	2,5
19	45	2	44	32	5
20	45	1	45	32	2
21	45	3	46	32	4
22	45	4	47	32	2
23	45	8	48	36	1,5
24	60	2	49	36	2
25	60	3	50	36	2,5

Для определения большинства остальных размеров зубчатого колеса (рис. 3) существуют эмпирические зависимости.

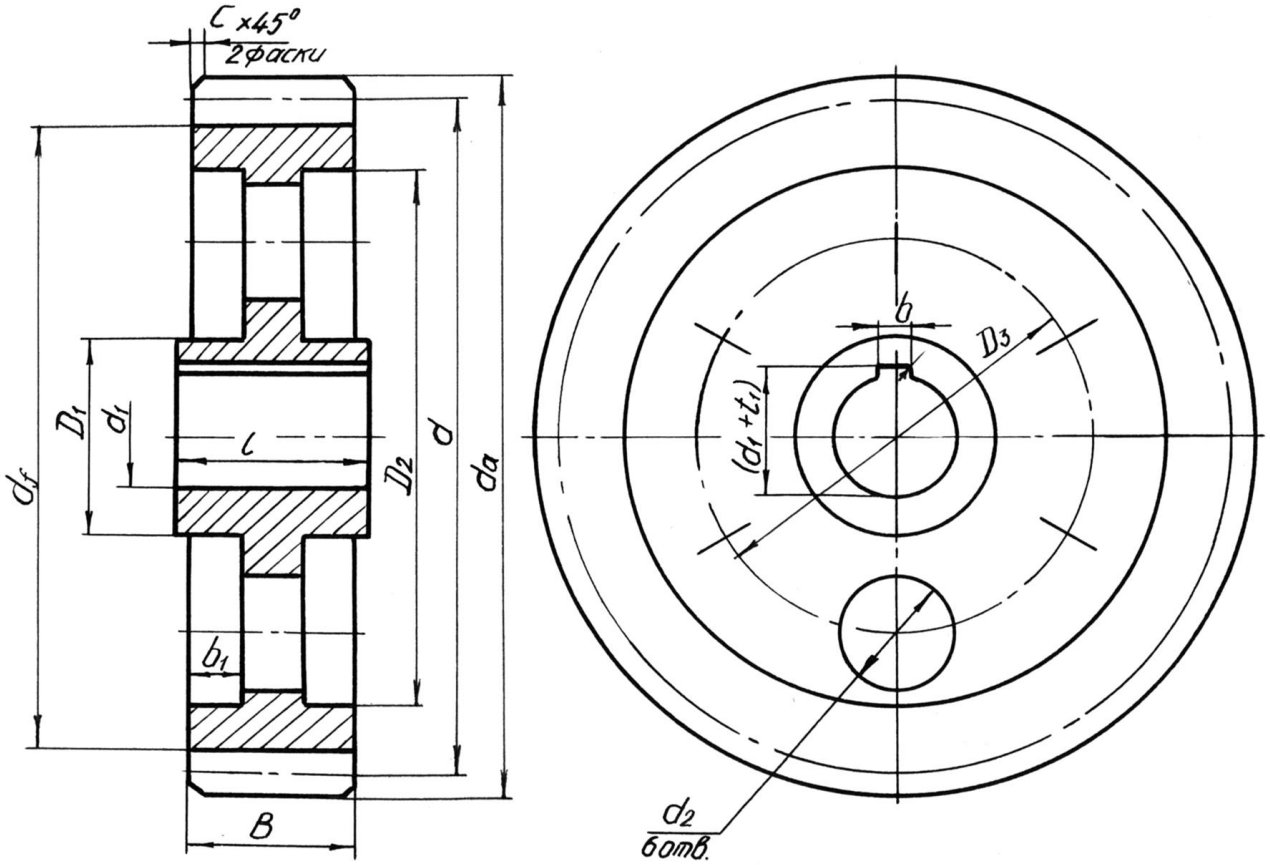


Рис. 3. Основные размеры элементов зубчатого колеса

В частности, размеры ступицы определяются по формулам

$$d_1=(4\div5)m, \quad (9)$$

$$\ell=1{,}7d_1, \quad (10)$$

$$D_1=(1{,}6\div1{,}8)d_1. \quad (11)$$

Где d_1 – диаметр отверстия ступицы зубчатого колеса; ℓ – ширина ступицы; D_1 – диаметр ступицы. Размеры элементов обода колеса и зубчатого венца определяются по формулам

$$D_2=d_f-(3\div4{,}5)m\ , \quad (12)$$

$$B=(6\div8)\ m, \quad (13)$$

$$b_1=\frac{1}{3}B. \quad (14)$$

Величина D_2 представляет собой внутренний диаметр обода.

Размеры шпоночного паза определяются в зависимости от диаметра отверстия ступицы d_1 по ГОСТ 8788-68. Величины d_2, D_3 и c определяются (конструктивно) по усмотрению конструктора.

После определения размеров выполняют чертеж зубчатого колеса на листе формате А3. Масштаб изображения выбирается самостоятельно в соответствии с ГОСТ 2.302-68. На рис. 4 приведен пример такого чертежа.

Следует обратить особое внимание на условности и упрощения, применяемые при выполнении чертежа. На месте главного вида выполняется полный фронтальный разрез колеса; зуб на разрезе показан не заштрихованным, а по диаметру делительной окружности нанесена штрихпунктирная линия. На виде слева делительная окружность показана также штрихпунктирной линией, а окружность впадин вообще не изображена.

В правом верхнем углу необходимо выполнить таблицу, в которой приведены основные параметры зубчатого колеса.

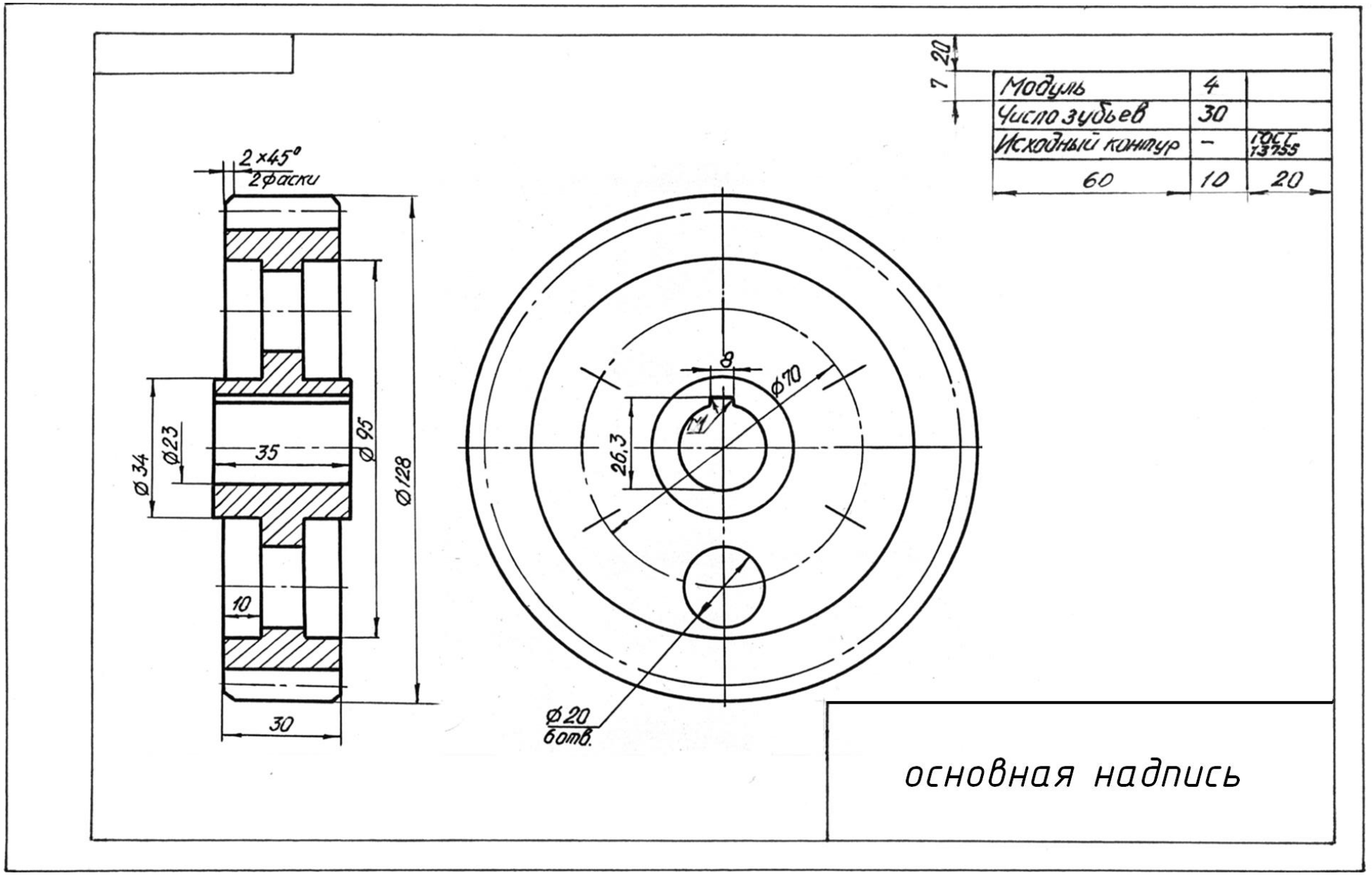


Рис. 4. Пример выполнения

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Богданов В. Н. и др. Справочное руководство по черчению. М.: Машиностроение, 1989.

Суворов С. Г., Суворова Н. С. Машиностроительное черчение в вопросах и ответах: Справочник. М.: Машиностроение, 1984.

Федоренко В. А., Шошин А. И. Справочник по машиностроительному черчению. Л.: Машиностроение, 1981.



Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Т. Е. Савина

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ «СОЗДАНИЕ ПРОЕКЦИОННОГО ЧЕРТЕЖА СРЕДСТВАМИ AUTOCAD»

по дисциплинам:

«Инженерная и компьютерная графика»,

«Начертательная геометрия. Инженерная и компьютерная графика»

Екатеринбург – 2019

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Т. Е. Савина

Методическое пособие по выполнению практической работы «Создание проекционного чертежа средствами AutoCAD» по дисциплинам: «Инженерная и компьютерная графика», «Начертательная геометрия. Инженерная и компьютерная графика»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Ш20

Рецензент: *Е. И. Шангина*, д-р пед. н., к.т.н., профессор кафедры ИГр УГГУ.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры инженерной графики 07.09.2017 г. (протокол № 1) и рекомендованы для издания в УГГУ

Савина Т. Е.

Ш20 Методическое пособие по выполнению практической работы «СОЗДАНИЕ ПРОЕКЦИЕННОГО ЧЕРТЕЖА СРЕДСТВАМИ AUTOCAD» курсу «Компьютерная графика» для студентов всех специальностей /Т. Е. Савина. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – 31 с.

В методическом пособии изложена последовательность и порядок построения проекционного чертежа в системе AutoCAD. Варианты индивидуальных заданий приведены в приложении. Дан пример выполнения графической работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ……3

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ……..4

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ……6

3. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ 2D ЧЕРТЕЖА……..8

4. ПРИЛОЖЕНИЕ…… …19

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…… …….32

СОЗДАНИЕ ПРОЕКЦИОННОГО ЧЕРТЕЖА СРЕДСТВАМИ AUTOCAD

Цель задания:

-закрепление навыков работы с командами построения и редактирования системы AutoCAD в процессе выполнения чертежа, оформленного в соответствии с требованиями стандартов Единой Системы Конструкторской Документации (ЕСКД).

Задание содержит 12 вариантов, приведённых в приложении.

По двум заданным изображениям детали построить проекционный чертеж в трех проекциях, на месте соответствующих видов выполнить необходимые разрезы (ГОСТ 2.305-68). Выполнить компоновку чертежа на формате А3 (ГОСТ 2.301-68), с основной надписью формы 1 (ГОСТ 2.104-68).

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

При выполнении задания необходимо опираться на ГОСТ 2.305-68, 2.307-68, знать интерфейс, основные понятия и принципы работы в системе AutoCAD.

Используя проекционную связь между данными в варианте изображениями, выявить геометрические формы элементов детали, с четким разграничением внутренних и наружных поверхностей. В задании внутренний контур показан штриховыми линиями, для его выявления необходимо использовать разрезы и сечения. Разрезы располагать на месте соответствующих видов. При наличии плоскости симметрии, совмещать половину вида с половиной разреза на одном изображении. После выполнения разрезов штриховые линии на видах не показывают.

Изображения на чертеже располагать равномерно, расстояния между ними выбирать с учетом простановки размеров в соответствии с ГОСТ 2.307-68. При простановке размеров необходимо помнить:

1.Размеры указывают истинные, независимо от масштаба, в котором выполнен чертеж.

2.Линейные размеры проставляют в миллиметрах, без указания размерности, угловые – с единицами измерения (градусы, минуты, секунды).

3.В машиностроительном черчении не допускается замкнутая размерная цепочка.

4.Минимальное расстояние между размерной линией и линией контура – 10 мм, между последующими размерными линиями – 7 мм. Чтобы размерные линии не пересекались сначала (ближе к контуру) ставят меньшие размеры.

5.Если изображения состоят из половины вида и половины разреза, то размерные линии обрывают за осью симметрии, при этом размерное число ставят полным и ближе к середине.

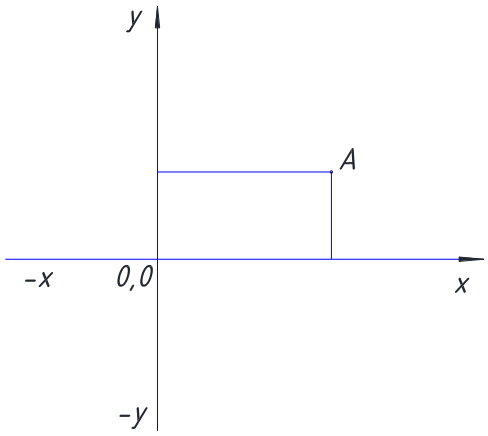
6. Размеры, относящиеся к наружным и внутренним поверхностям, группируют отдельно: наружные – со стороны вида, внутренние – со стороны разреза.

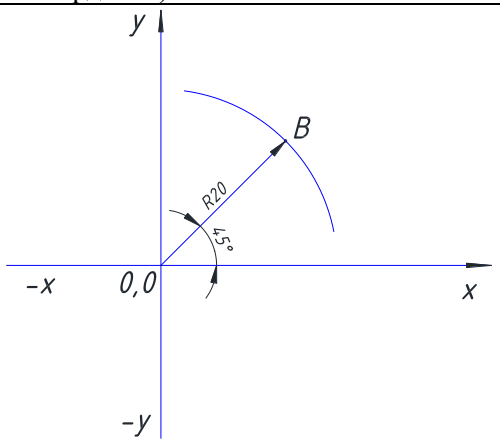
7.Размеры относящиеся к одному и тому же элементу (отверстию, пазу и т.п.), располагают в одном месте того изображения, где наиболее полно читается его форма.

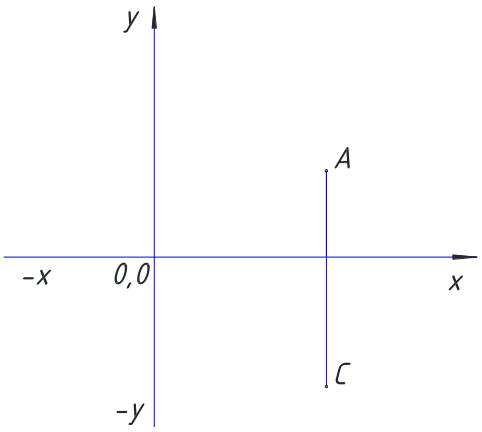
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

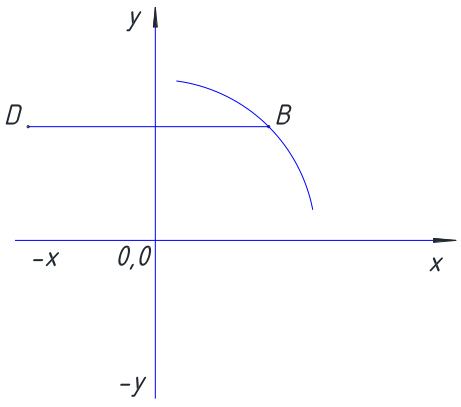
- Все изображения строятся в пространстве модели, в масштабе 1:1.
- Фрагменты чертежа: осевые и центровые линии, вспомогательные построения, чистовая обводка, размерные лини и т.д. принято размещать на разных слоях. Послойная грамотная организация чертежа позволяет сократить время по его разработке.
- Точность геометрических построений обеспечивается способами задания точки:

1. Координатный (ввод с командной строки)

<table>
<tr><th>Прямоугольные координаты</th><th>Полярные координаты</th></tr>
<tr><td colspan="2">Абсолютные
(отсчет от начала системы координат)</td></tr>
<tr><td> 

x, y
т.A: 20,10</td><td> 

R< φ
т.B: 20<45</td></tr>
<tr><td colspan="2">Если в строке состояния включен режим ДИН (динамический ввод), то перед абсолютными координатами необходимо указывать символ #</td></tr>
<tr><td colspan="2">Относительные
(отсчет от последней введенной точки, первую точку задать НЕЛЬЗЯ)</td></tr>
<tr><td> 

@x,y
т.C: @0,-25</td><td> 

@R< φ
т.D: @30<180</td></tr>
</table>

2. Применение режимов рисования таких, как **СЕТКА** и **ШАГ**, **ОРТО** или **ПОЛЯРНОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ**, **ОБЪЕКТНЫЕ ПРИВЯЗКИ**.
Соответствующие кнопки находятся на строке состояния.

Кнопка  режима **СЕТКА (F7)** позволяет включать или выключать отображаемую на экране сетку из линий с настраиваемым шагом. Эта видимая сетка может не совпадать с невидимой сеткой, используемой в режиме **ШАГ**.

Кнопка  режима **ШАГ (F9)** дает возможность включать или выключать шаговую привязку к точкам невидимой сетки с определенным настраиваемым шагом (перемещение курсора тогда осуществляется не непрерывно, а только по узлам этой сетки) или полярную привязку (в этом случае, при включении **ПОЛЯРНОГО ОТСЛЕЖИ-ВАНИЯ,** движение курсора вблизи заданных углов осуществляется с заданными направлением и шагом).

Кнопка  **ОРТО (F8)** включает и выключает режим ортогональности (курсор перемещается вертикально и горизонтально).

Кнопка  режима **ПОЛЯРНОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ (F10)** является расширением режима ОРТО на углы с некоторым настраиваемым шагом.

Кнопка  режима **ПРИВЯЗКА (F3)** позволяет включить или выключить постоянное действие объектных привязок (привязок к характерным точкам существующего объекта).

3. Быстрый метод «**Направление + расстояние**». Направление фиксируется с помощью одного из режимов **ОРТО** или **ПОЛЯРНОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ**, а расстояние задается с клавиатуры без символа @.

Любое изображение создается с помощью базового набора графических примитивов. К наиболее часто используемым примитивам относятся **ОТРЕЗОК (LINE)**, **ОКРУЖНОСТЬ (CIRCLE)**, **ДУГА (ARC)**, **ПОЛИЛИНИЯ (POLYLINE)** и т.д.

При выполнении задания важную роль играют команды редактирования:

- Для четкой разметки элементов изображения целесообразно использовать команду **ПОДОБИЕ (OFFSET)** позволяющую создавать параллельные отрезки и полилинии, концентрические дуги и окружности, подобные существующим и отстоящие от исходных на заданное расстояние.
- При наличии симметрии достаточно построить половину изображения и отобразить с помощью команды **ЗЕРКАЛО (MIRROR)** относительно заданной оси, которая определяется двумя точками.

- Повторяющиеся объекты размножить командами **КОПИРОВАТЬ** (**COPY)** или **МАССИВ (ARRAY).**
- Для построения фасок и сопряжений применить команду **ФАСКА (CHAMFER)** и **СОПРЯЖЕНИЕ (FILLET).**
- Для удаления части объекта использовать команду **ОБРЕЗАТЬ (TRIM),** которая удаляет объект с помощью пересекающих его других объектов (режущих кромок) или команда **РАЗОРВАТЬ (BREAK),** позволяющий удалить части примитива в 2х указанных точках.
- После завершения всех построений необходимо выполнить компоновку изображений внутри выбранного формата. Для этого применяется команда **ПЕРЕНЕСТИ (MOVE)** и при необходимости **МАСШТАБ (SCALE).**

Завершающий этап – простановка размеров и выполнения текстовых надписей. Предварительно необходимо настроить текстовый и размерный стили в соответствии с ЕСКД.

3. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ 2D ЧЕРТЕЖА

Порядок построения чертежа рассмотрим на примере варианта 13

1. Запустить AutoCAD. Создать новый файл-чертеж на основе шаблона **Acadiso.dwt** (папка *Template*) с именем соответствующим названию детали. Файл сохранить в предварительно созданной папке, названной по фамилии студента в папке *Мои документы*. Например:*Основание.dwg/Иванов_ЭЭТ/Мои документы*
2. Настройки и рабочая среда чертежа
Выбранный шаблон позволит сэкономить время на настройку единиц измерения и лимитов (границ) чертежа. Шаблон **Acadiso.dwt** уже имеет необходимые настройки: метрические единицы и границы 420х297мм.
3. Настроить интервал видимой сетки -10 мм, интервал шаговой привязки - 5мм. Диалоговое окно **Режимы рисования** (рис 1) можно вызвать, щелкнув правой кнопкой мыши на одной из кнопок соответствующих режимов, например, **ШАГ.** После настройки параметров шага и сетки перейти на вкладку **Объектная привязка** и выбрать следующие привязки: кон. точка; точка пересечения ; центр; касательная.

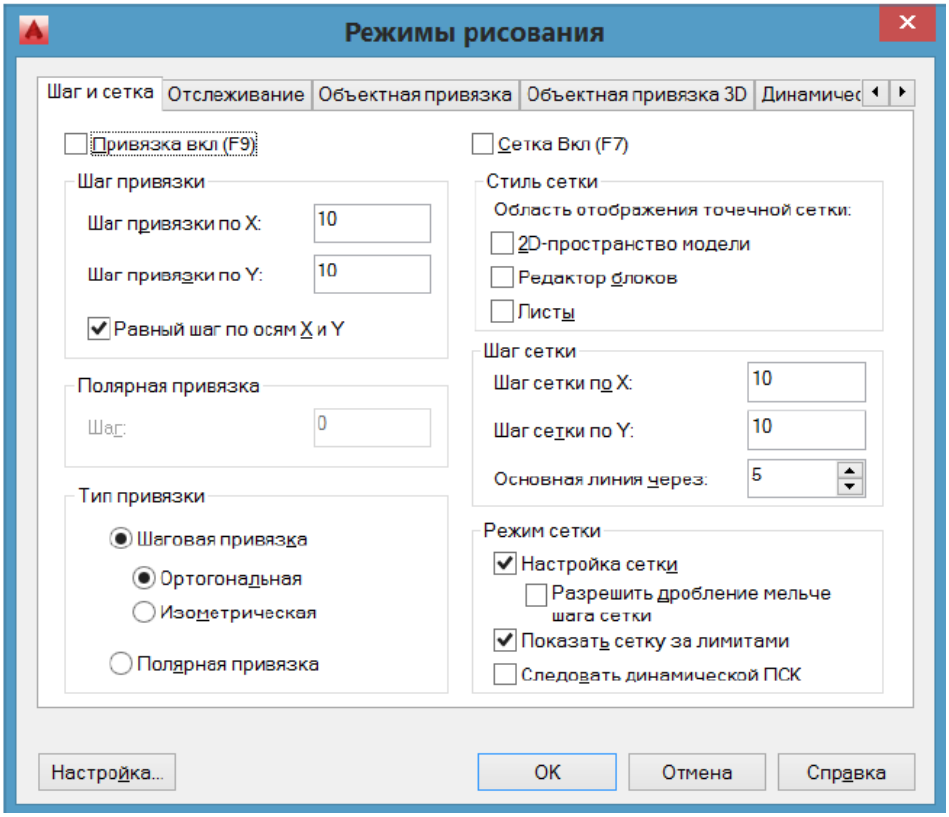


Рис.1

4. Создать слои. Открыть диалоговое окно **Диспетчер свойств слоев,** рис.2 (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Слои** →  **),** выбрать команду **СОЗДАТЬ СЛОЙ** 

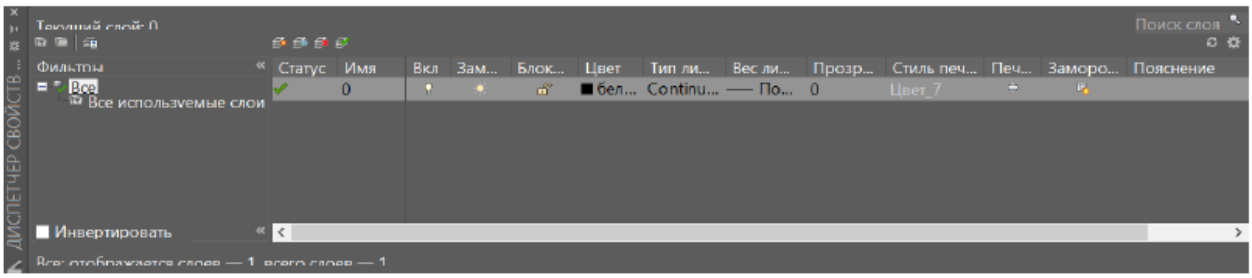


Рис.2

Название	Цвет	Тип линии	Вес (толщина) линии, мм
Слой ***Оси***	красный	штрихпунктирная	0.15
Слой ***Черновик***	зеленый	сплошная	0.15
Слой ***Контур***	белый или черный (контрастный по отношению к фону в окне чертежа)	сплошная	0.5
Слой ***Штриховка***	синий	сплошная	0.15
Слой ***Размеры***	синий	сплошная	0.15
Слой ***Рамка***	белый или черный	сплошная	0.15

*Обратите внимание на свойства объекта (примитива): цвет, тип и толщина линий должны быть настроены «по слою» (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Свойства**). Толщина линий отображается при включенном режиме **отображение/скрытие веса линий** 

5. Сделать текущим слой «Оси».

Проведем осевые и центровые линия вида сверху с которого удобнее начать построение .

Команда **ОТРЕЗОК**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование**): построить горизонтальную линию от т.1 (50;100) длиной 220 мм (т.2). Вертикальную линию от т.3 (85,50) длиной 108мм (т.4), рис.3.

Проведем с помощью команды **ПОДОБИЕ**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Редактирование**) вторую вертикальную линию на расстояние 110 мм справа от первой, рис.3.

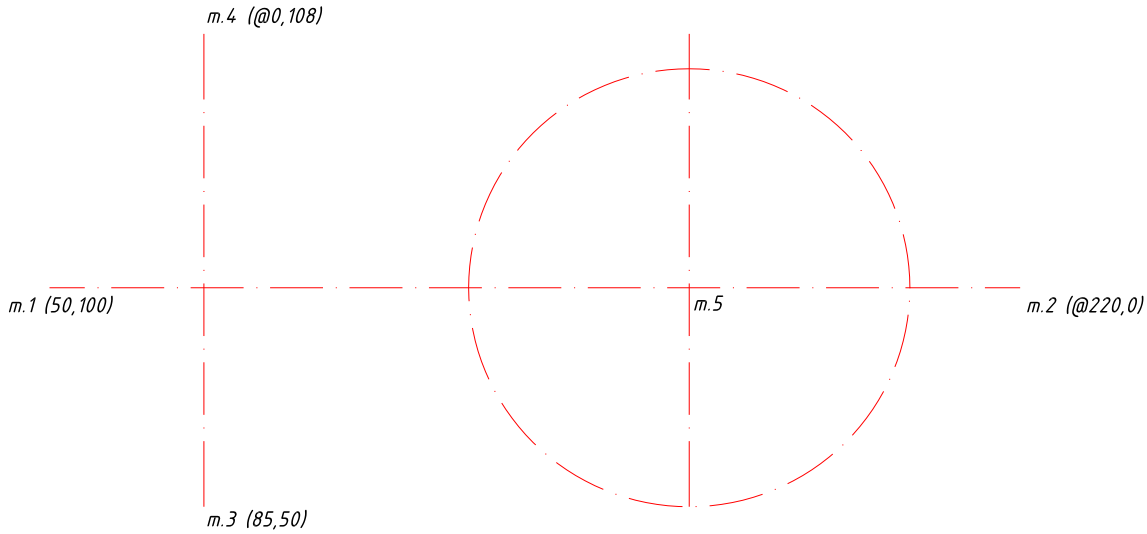


Рис. 3

Построить окружность (команда **ОКРУЖНОСТЬ**  **- Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование**) с центром в т.5 ,которая выбрана с помощью объектной привязки пересечение, и R 50.

6. Текущий слой «Контур»

Построить 4 окружности, см рис.4:

- окружность O_1, R70
- окружность O_2, R10
- окружность O_3, R16
- окружность O_3, R32

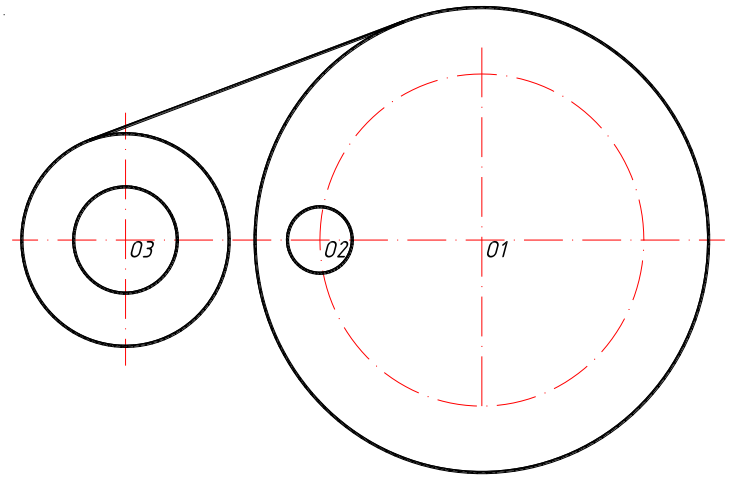


Рис. 4

Провести внешнюю касательную к окружности (O_3, R32) и окружности (O_1, R70):

Команда **ОТРЕЗОК:**

от точки : указать т-ку на окружности задающую первую касательную (объект. привязка «кас» включена)

След. точка: указать точку на другой окружности, задающий вторую касательную рис.4.

Зеркально отобразить построенный отрезок. Команда **ЗЕРКАЛО**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Редактирование**):

Выбрать отрезок, подтвердить выбор (клавиша «Enter»).

Указать с помощью объектной привязки пересечение т. O_1 и O_3. Исходный объект не удалять.

Удалить часть окружности (O_3, R32) между касательными. Команда **ОБРЕЗАТЬ**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Редактирование**): сначала указать «режущие кромки» - все касательные, подтвердить выбор нажатием клавиши «Enter».В ответ на следующий запрос необходимо выбрать ту часть окружности, которую надо удалить. Результат см. на рис. 5.

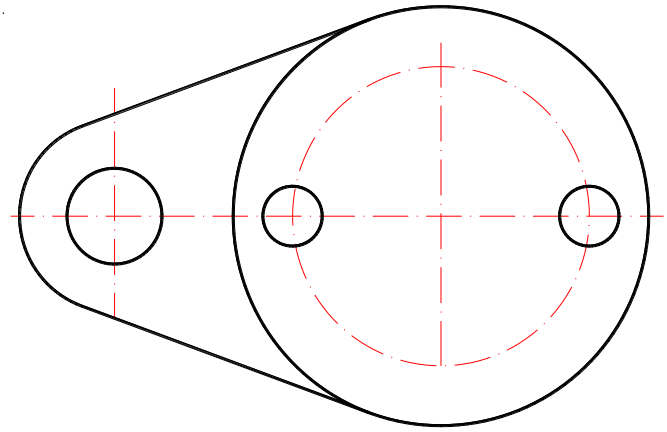


Рис. 5.

Скопировать окружность R=10. Команда **КОПИРОВАТЬ**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Редактирование**): позволяет выбрать выбранные объекты параллельно вектору переноса, который задается начальной и конечной точкой.

7. Текущий слой «Черновик», на котором нужно выполнить вспомогательные построения для отверстия со шпоночным пазом и ребра жесткости. Построить окружность с центром O_1 и R=30. Наметить ширину и глубину шпоночного паза.

Команда **ПОДОБИЕ**: величина смещения 8 мм, выбрать вертикальную центровую линию, указать произвольную точку сначала справа, затем слева от этой линии.

Команда **ПОДОБИЕ:** величина смещения 36 мм, выбрать горизонтальную штрих пунктирную линию, указать точку ниже исходной линии, (рис 6).

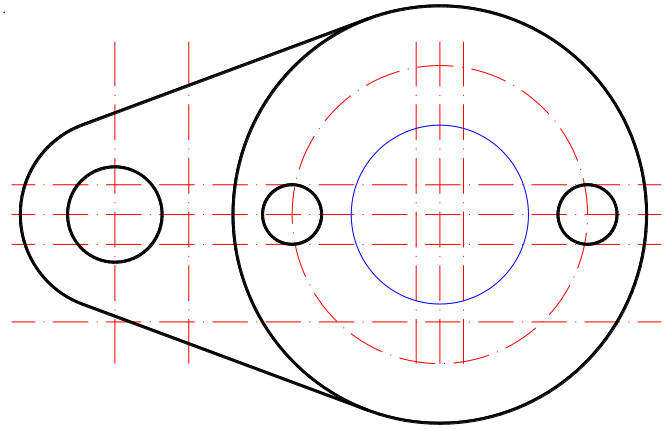


Рис. 6

Толщину и длину ребра жесткости так же наметить с помощью команды **ПОДОБИЕ** в соответствии с размерами элемента, заданными на исходном чертеже (см. задание).

Все полученные, в результате выполнения этой команды, линии находятся на слое «оси», так же как и исходный объект.

Чтобы перенести эти линии на слой «Черновик», необходимо выбрать линии и изменить слой на ленте меню или в окне свойства.

8. Текущий слой «Контур»

Произвести чистовую обводку контуров отверстия со шпоночным пазом. Используя команду **ПОЛИЛИНИЯ**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование**): построить линейные и дуговые сегменты, точки задать с помощью объектной привязки **пересечение**. Обводку дуги удобнее выполнить против часовой стрелки. Контур ребра жесткости так же выполнить командой **ПОЛИЛИНИЯ**, рис. 7.

9. На месте главного вида необходимо построить фронтальный разрез.

Текущий слой «черновик».

Наметить длину с помощью линий проекционной связи. Построить вертикальные линии: от точки – указать первую точку с помощью объектной привязки **пересечение** на виде сверху; вторая точка – указать курсором при включенном режиме **Орто**, либо задать через относительные координаты (длина 210 мм), рис. 8.

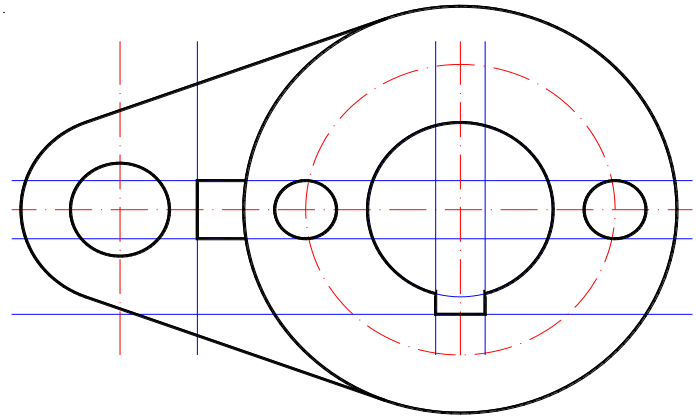


Рис.7

Разметку по высоте удобно выполнить с помощью команды **ПОДОБИЕ**. Выбрать горизонтальную осевую линию и построить подобную ей на расстоянии 130мм к верху от исходной. Построить еще две параллельные линии на расстоянии соответственно 30 и 50 мм к верху от предыдущей. Все три построенные линии перенести на слой «Черновик», рис.8.

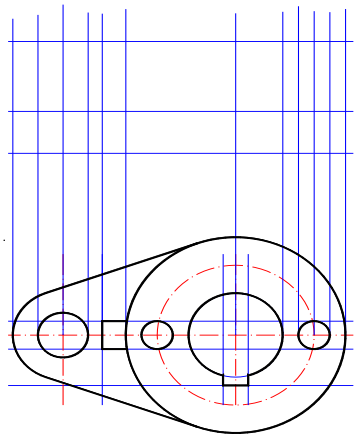


Рис.8

10. Текущий слой «Контур».
Командой **ПОЛИЛИНИЯ** выполнить:

-обводку внешнего контура, указав точки с помощью объектной привязки **пересечение**;

-ребра жесткости;

-обвести очерковые образующие отверстий в основании и цилиндрической части. Для построения отверстий в цилиндрической части рекомендуется использовать команду **ЗЕРКАЛО**, рис.9.

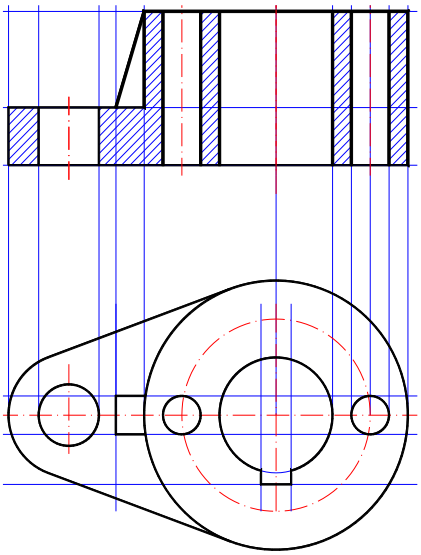


Рис.9

11. Текущий слой «Штриховка».

Команда **ШТРИХОВКА**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование**): выбрать образец ANSI и указать по одной точке внутри каждой из замкнутых областей, подлежащих штриховке, рис. 10.

12. Текущий слой «Оси».

Командой **ОТРЕЗОК** провести осевые линии поверх линий проекционной связи, выходя за контур на 3-5 мм, рис. 10.

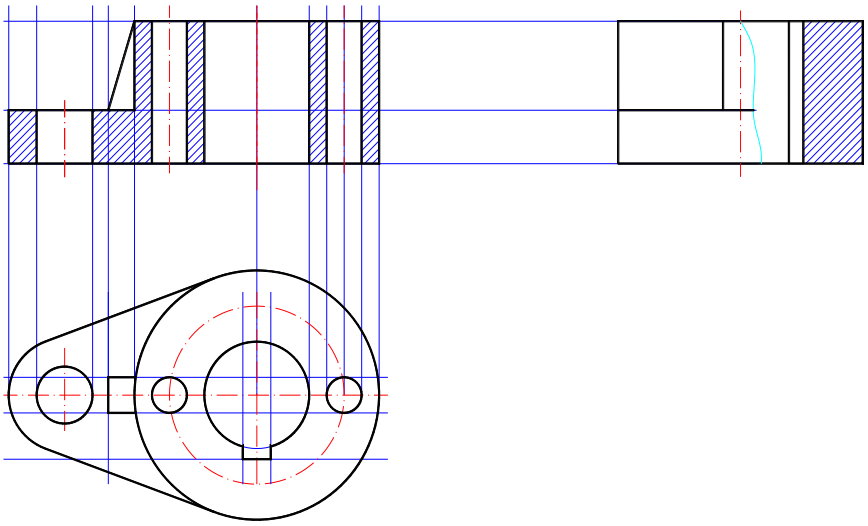


Рис. 10.

13. Строим вид слева, используя местный разрез для выявления шпоночного паза.

Текущий слой «Черновик».

Наметить высоту элементов с помощью линий проекционной связи.

Команда **ОТРЕЗОК**: провести три горизонтальные линии (рис. 10), длиной примерно 250мм.

Для разбивке по ширине применить команду **ПОДОБИЕ**.

Дальнейшие построения выполнить самостоятельно по вышеописанной схеме (см. построение фронтального разреза).

Разграничить вид и разрез сплошной волнистой линией. Так как это линия сплошная тонкая выполнить ее можно на слое «Штриховка» командой **СПЛАЙН**  (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование**).

14. Оформить 2D чертеж возможно как в пространстве листа, так и в пространстве модели. В целях облегчения усвоения материала выберем второй вариант.

Для оформления чертежа необходима рамка формата А3 с основной надписью формы1. Если готовая рамка с основной надписью есть, то вставить ее в текущий файл можно через буфер обмена или как внешний блок.

Чтобы вычертить рамку надо сделать текущим слой «Рамка». Толщина линий на этом слое равна 0.2 мм, толщину основных линий зададим командой **ПОЛИЛИНИЯ.**

С помощью команды **ПРЯМОУГОЛЬНИК**  **(Лента:** вкладка **Главная** → панель **Рисование)** наметим границы формата (первый угол:0, 0; второй угол:420, 297)

Команда **ПОЛИЛИНИЯ.** Задать координаты первой точки рамки: 20,5; затем перейти на опцию **ширина** и задать начальную ширину:0.6; конечную ширину: 0.6. После указания ширины нужно указать координаты 2-й точки: @395,0;

координаты 3-й точки: @0,287;

координаты 4-й точки: @-395,0

и перейти на опцию **замкни.**

Основная надпись содержит линии различной толщины. Сначала вычертить границы рамки тонкими линиями.

Команда **ОТРЕЗОК.** Начертить последовательно вертикальный и горизонтальный отрезки

от точки: 215,50

до точки:@0,55

до точки:@185,0

Размножить построенные линии командой **ПОДОБИЕ,** удалить лишние фрагменты командой **ОБРЕЗАТЬ** и выполнить обводку основных толстых линий командой **ПОЛИЛИНИЯ** (рис. 11)

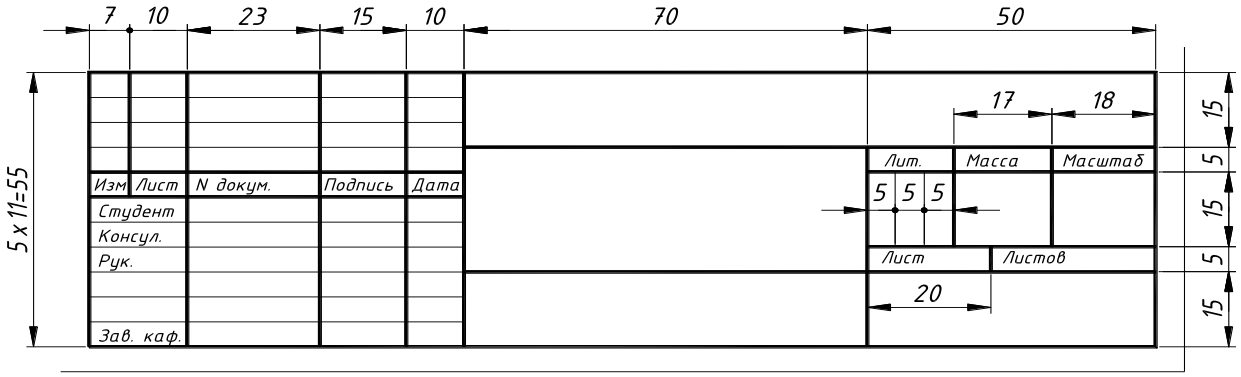


Рис.11.

Перед заполнением основной надписи необходимо настроить стиль текста. Диалоговое окно «Стиль текста» можно открыть через **Ленту:** вкладка **Главная** → панель **Аннотации** →  **.** Это окно позволяет редактировать текущий или создать новый текстовый стиль, который определяется выбором шрифта *isocpeur*, наиболее соответствующего ЕСКД, высотой букв (в окне высоту задать о), углом наклона 15 градусов от вертикали.

Надписи выполнять командой **ТЕКСТ (Лента:** вкладка **Главная**→панель **Аннотации▼**→ ) высотой 2,5; 7; 5мм, высоту удобнее менять непосредственно в команде **ТЕКСТ.**

Компоновка чертежа. Изображения должны отстоять друг от друга, а также от рамки чертежа примерно на одинаковое расстояние по вертикали и горизонтали. Расстояния должны быть достаточными для простановки размеров и обозначений. Передвинуть изображения, при необходимости, позволяет команда **ПЕРЕМЕСТИТЬ,** уменьшить или увеличить команда **МАСШТАБ.** В нашем случае воспользуемся командой **МАСШТАБ**  **(Лента:** вкладка **Главная** → панель **Редактирование)** и уменьшим изображения в 2 раза. После выбора объектов, указать базовую точку (точка, не меняющая своего положения, после масштабирования)

Простановка размеров. Размеры представляют собой сложные примитивы, состоящие из размерных чисел (текстовая составляющая), выносных и размерных линий. По умолчанию AutoCAD создает ассоциативные размеры, то есть зависимые от объектов, к которым они привязаны. Это означает, что при редактировании основного объекта будут автоматически изменяться и связанные с ним размеры.

Перед простановкой размеров рекомендуется настроить размерный стиль соответствующий требованиям ЕСКД через диалоговое окно «Диспетчер размерных стилей» **(Лента:** вкладка **Главная** → панель **Аннотации▼** →  **.** В окне отображается список размерных стилей

текущего чертежа, текущий стиль выделен. Стиль определяет внешний вид размеров. Кнопка **Редактировать,** вызывает диалоговое окно **Изменение размерного стиля,** в котором производится изменение параметров стиля.

Вкладка **Текст** этого окна позволяет выбрать стиль и высоту текста (3,5 мм), ориентацию текста – согласно ИЗО.

Вкладка **Основные единицы** позволяет задать единицы измерения, точность и масштаб размерных чисел. В нашем примере масштаб равен **2**!

После настройки размерного стиля переходим непосредственно к простановке размеров.

Текущий слой «Размеры»

Проставим сначала высоту детали на главном виде. Команда **РЗМЛИНЕЙНЫЙ** (**Лента:** вкладка **Главная** → панель **Аннотации** → ):

Начало первой выносной линии или<выбор объекта>: с помощью объектной привязки указать правую нижнюю точку на главном виде

Начало второй выносной линии: указать верхнюю правую точку

Положение размерной линии или [МТекст/Текст/Угол/Горизонтальный/Вертикальный/Повернутый]:требуется щелчком мыши указать точку на расстоянии не менее 10мм от крайней правой вертикальной контурной линии главного вида

Размерный текст<80>

По указанным на объекте точкам, система сама определяет какой тип размера (вертикальный, горизонтальный) необходимо проставить. Опции **МТекст** (многострочный текст**)** и **Текст** позволяют редактировать размерный текст. Можно полностью изменить текст или сохранить выведенное значение с помощью угловых скобок < > и добавить, когда необходимо, текст до или после скобок. Так для указания знака диаметра перед размерным числом указывают символы %%c, а для простановки угла в градусах - %%d.

Проставить все оставшиеся линейные размеры самостоятельно, рис.11.

Нанести радиальный размер – команда **РЗМРАДИУС (Лента:** вкладка **Главная** → панель **Аннотации** →  **):**

Выберите дугу или круг: указать курсором дугу на виде сверху

Размерный текст <32>

Положение размерной линии или [МТекст/Текст/Угол]: указать точку местоположения размерной линии (она определяет внутри или снаружи будет расположен размер)

Обозначение фронтального разреза выполнить на слое «Размеры», используя команды **ПОЛИЛИНИЯ, ЗЕРКАЛО, ТЕКСТ,** самостоятельно, рис.12.

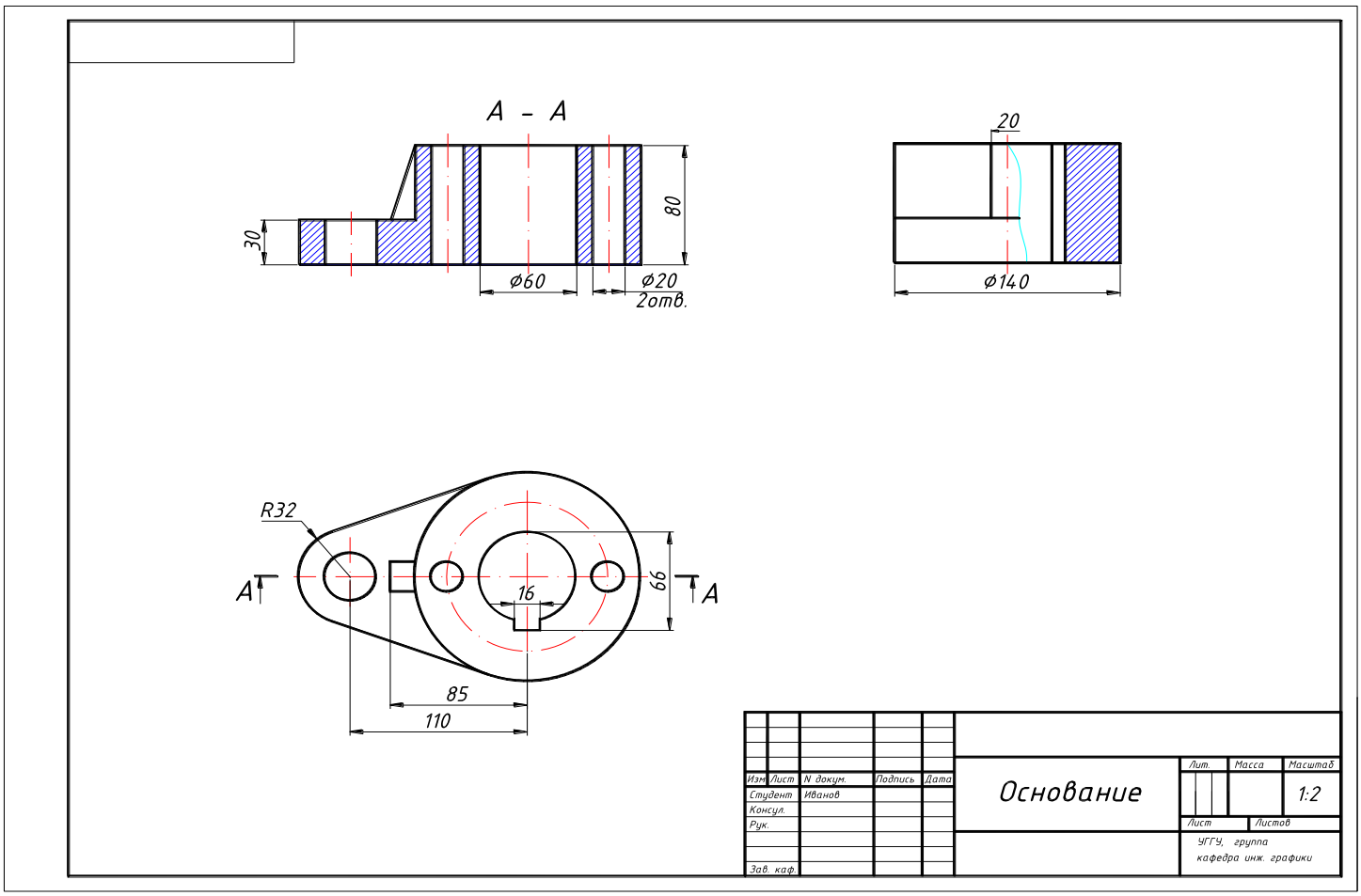
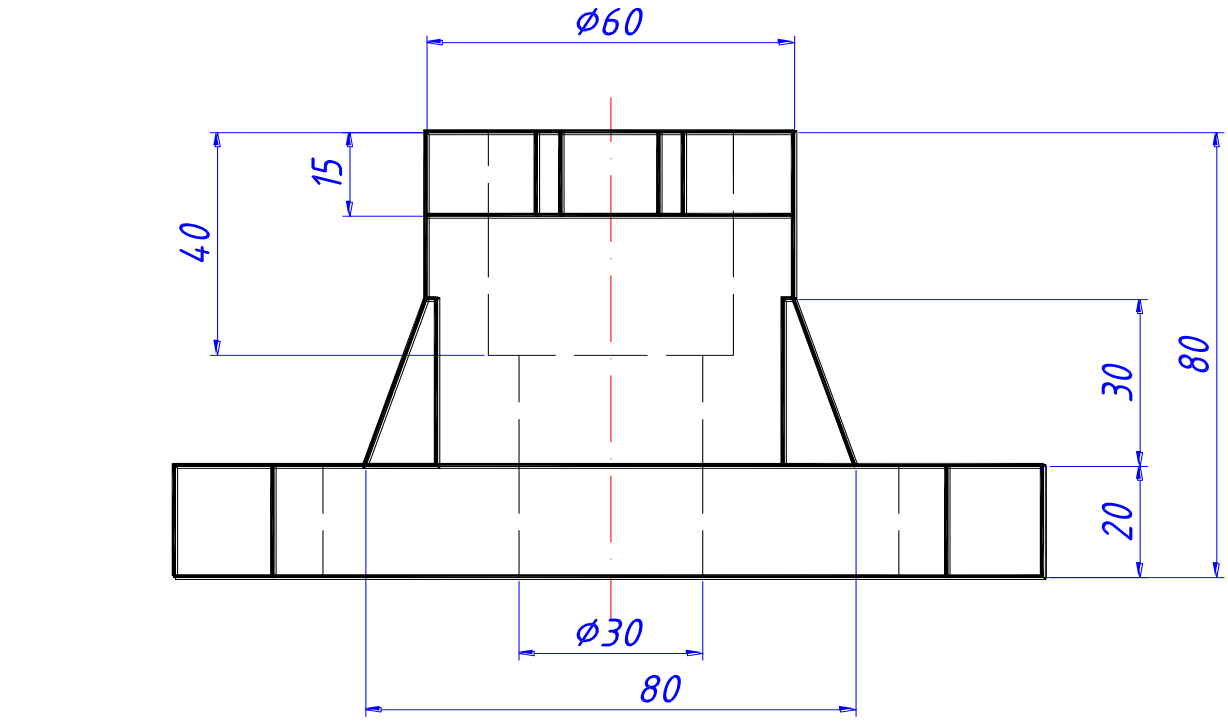
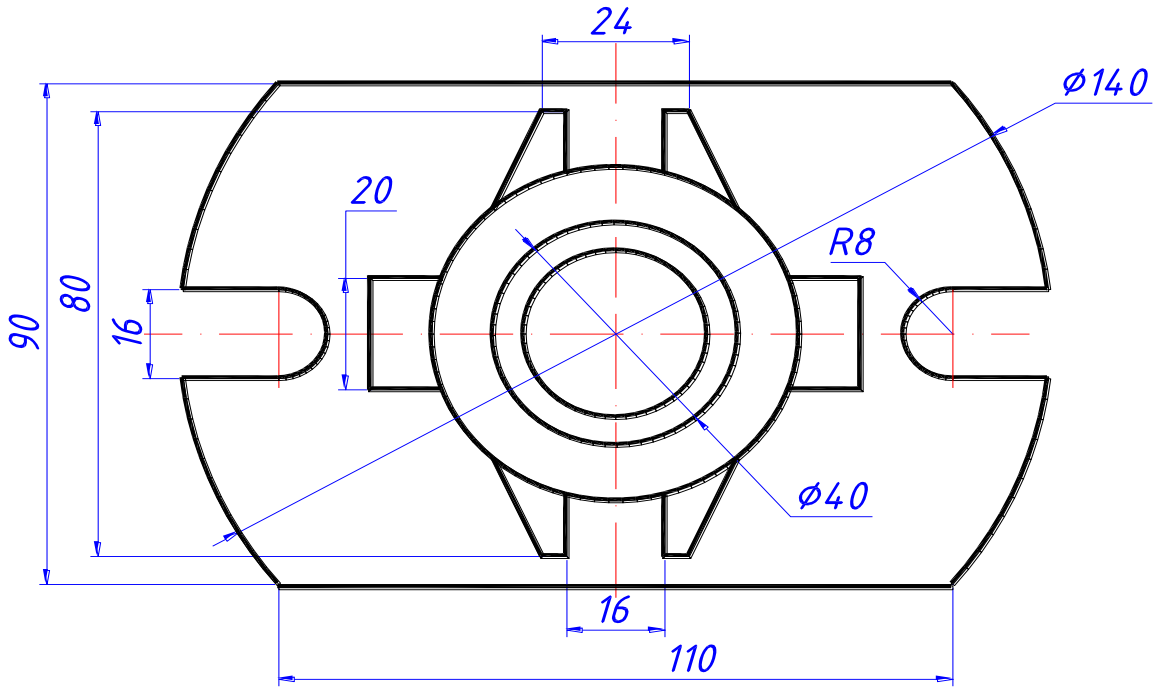

А - А
30
80
ø60
ø20
2отв.
20
ø140
R32
А
А
16
66
85
110
Основание
Изм
Лист
N докум.
Подпись
Дата
Студент
Иванов
Консул.
Рук.
Зав. каф.
Лит.
Масса
Масштаб
1:2
Лист
Листов
УГГУ, группа
кафедра инж. графики

Рис.12

4. ПРИЛОЖЕНИЕ

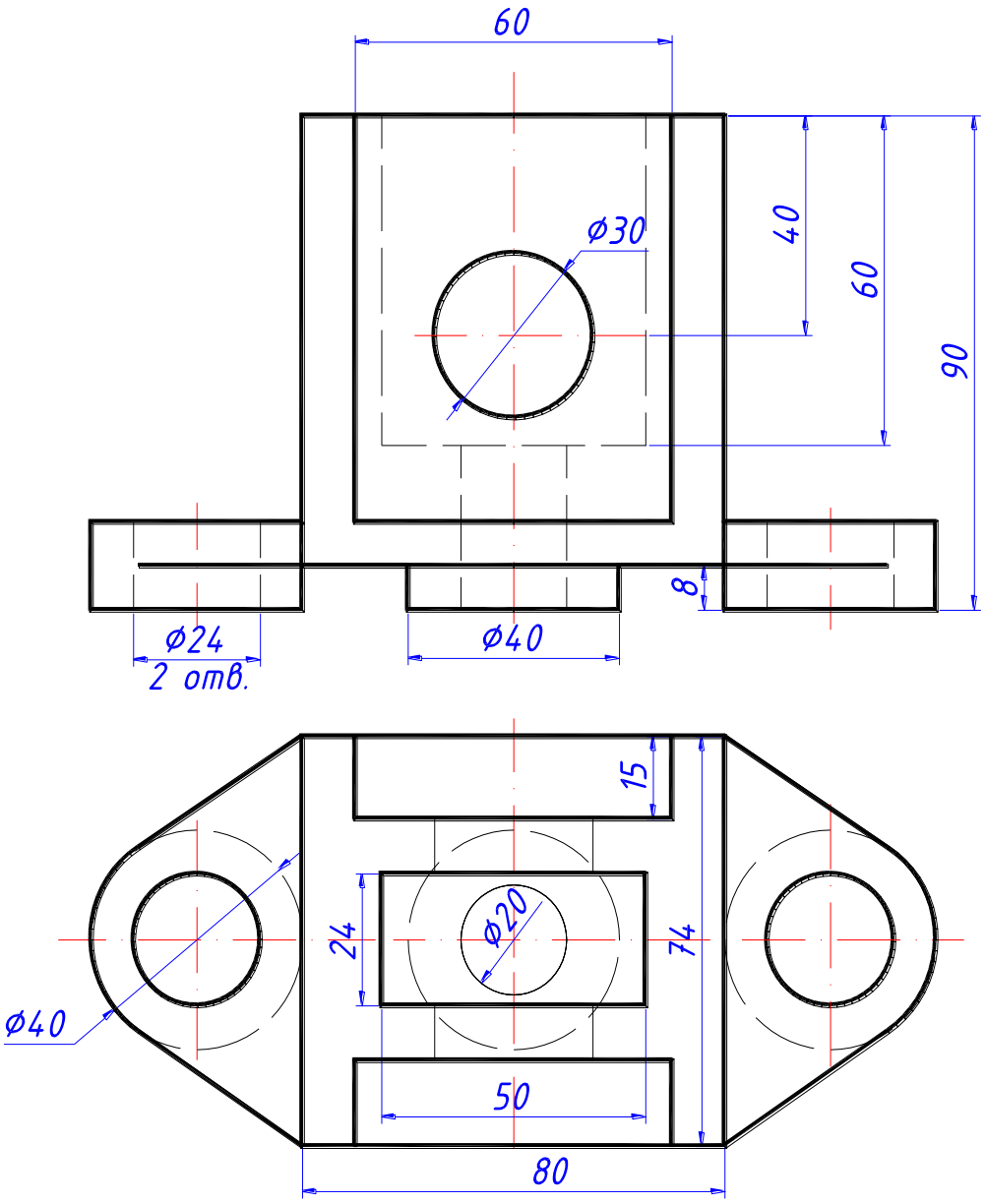
Вариант1





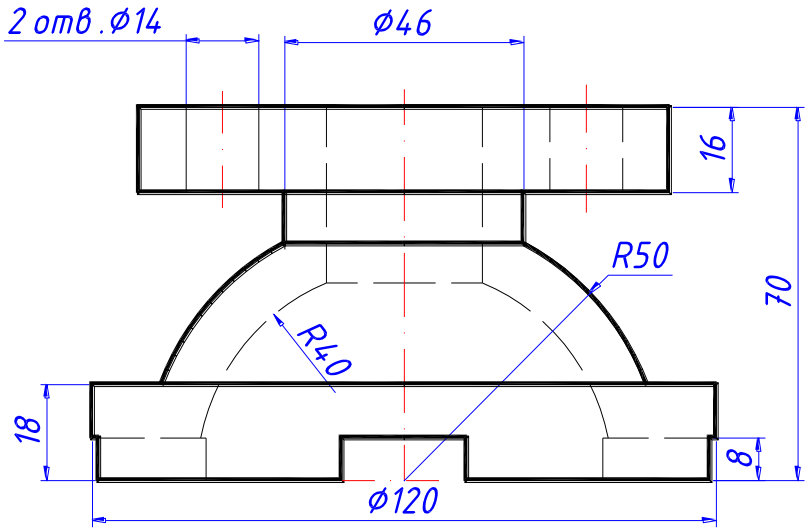
Корпус

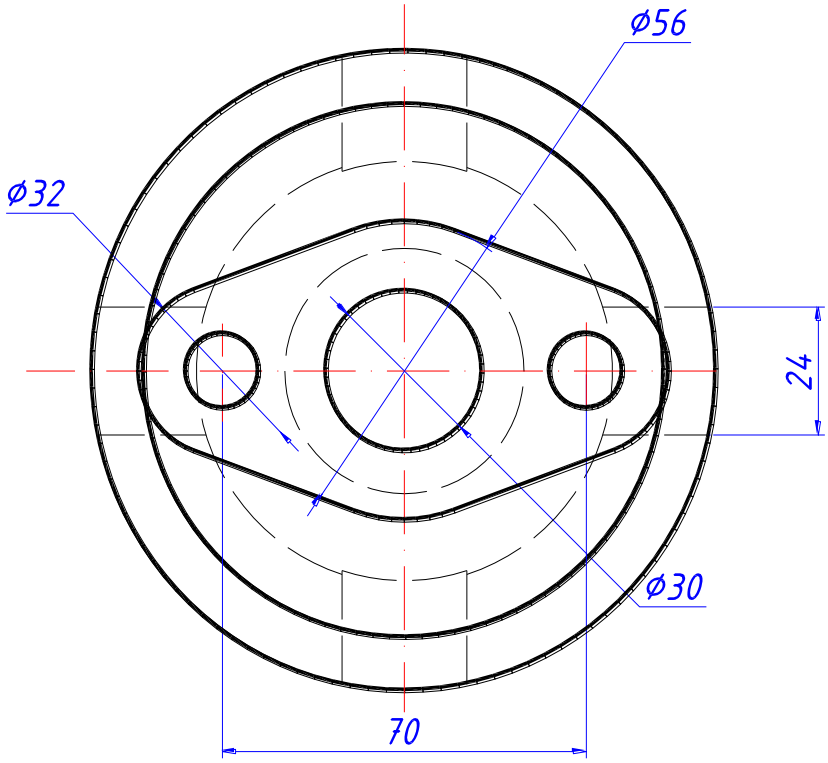
Вариант 2



Основание

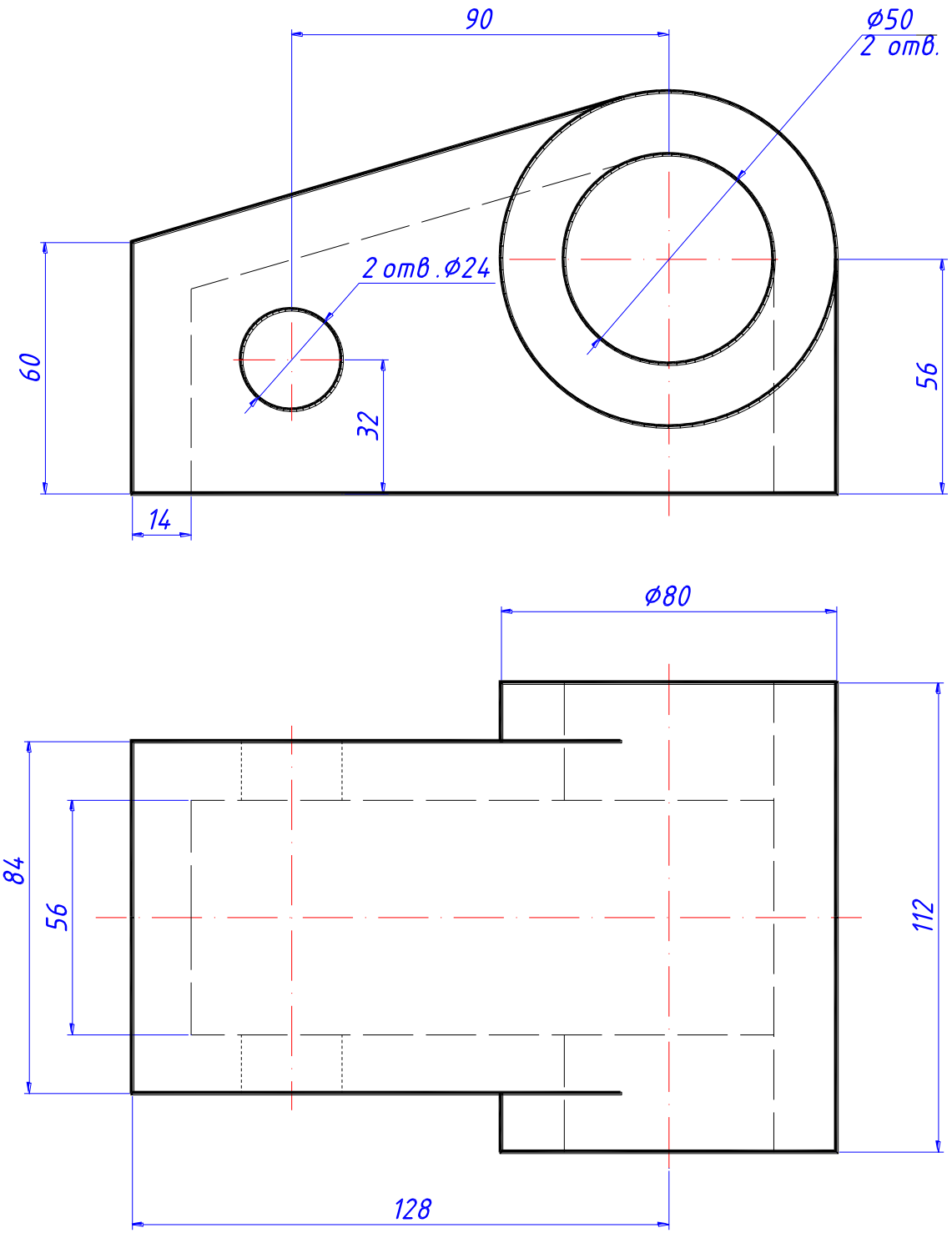
Вариант 3





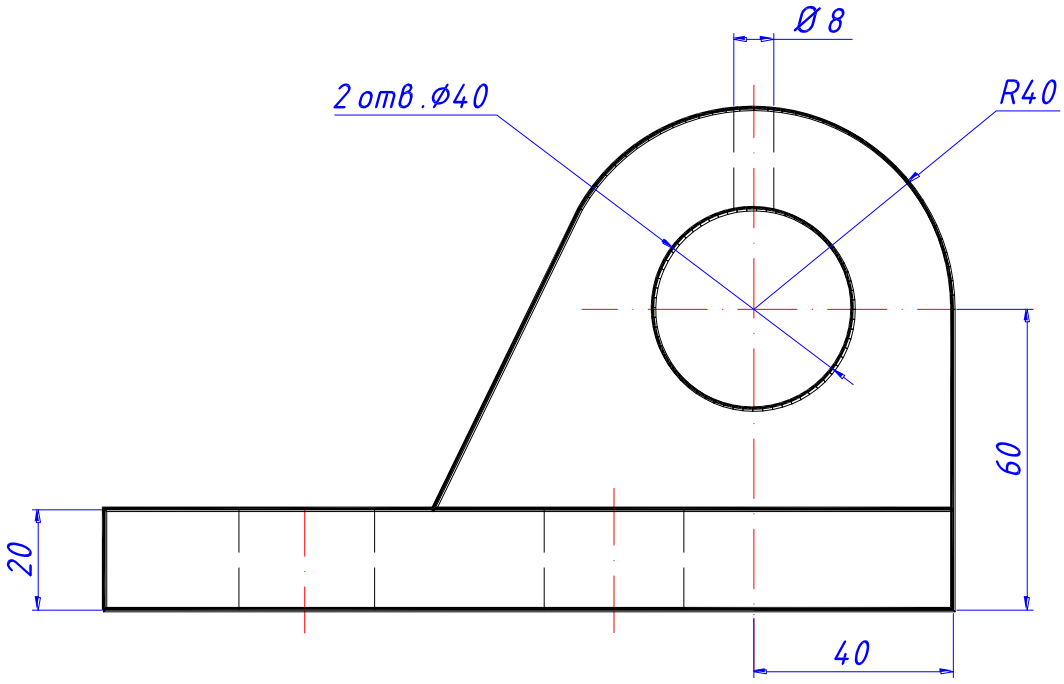
Крышка

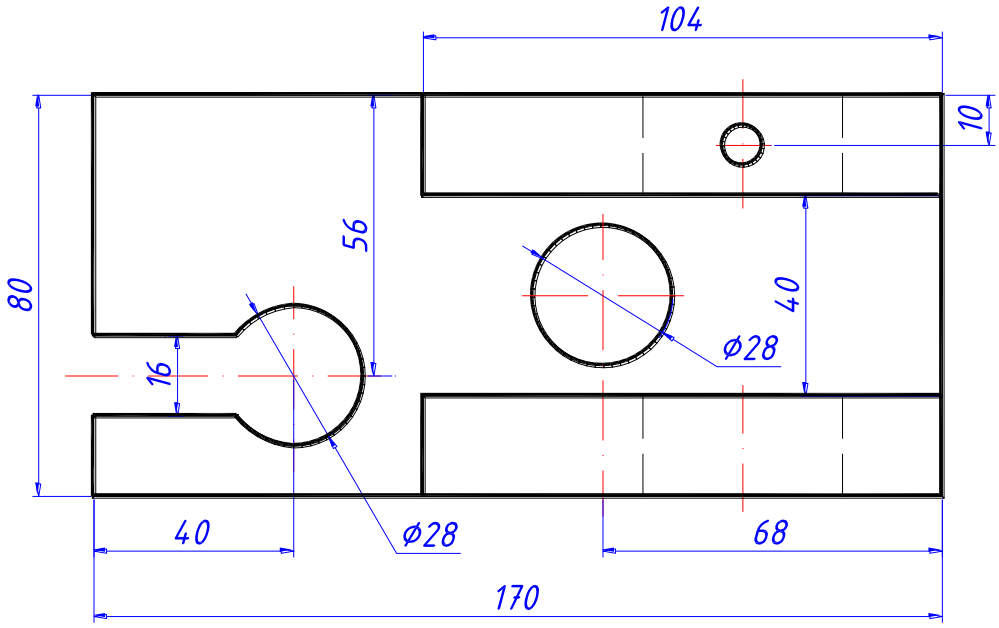
Вариант 4



Кожух

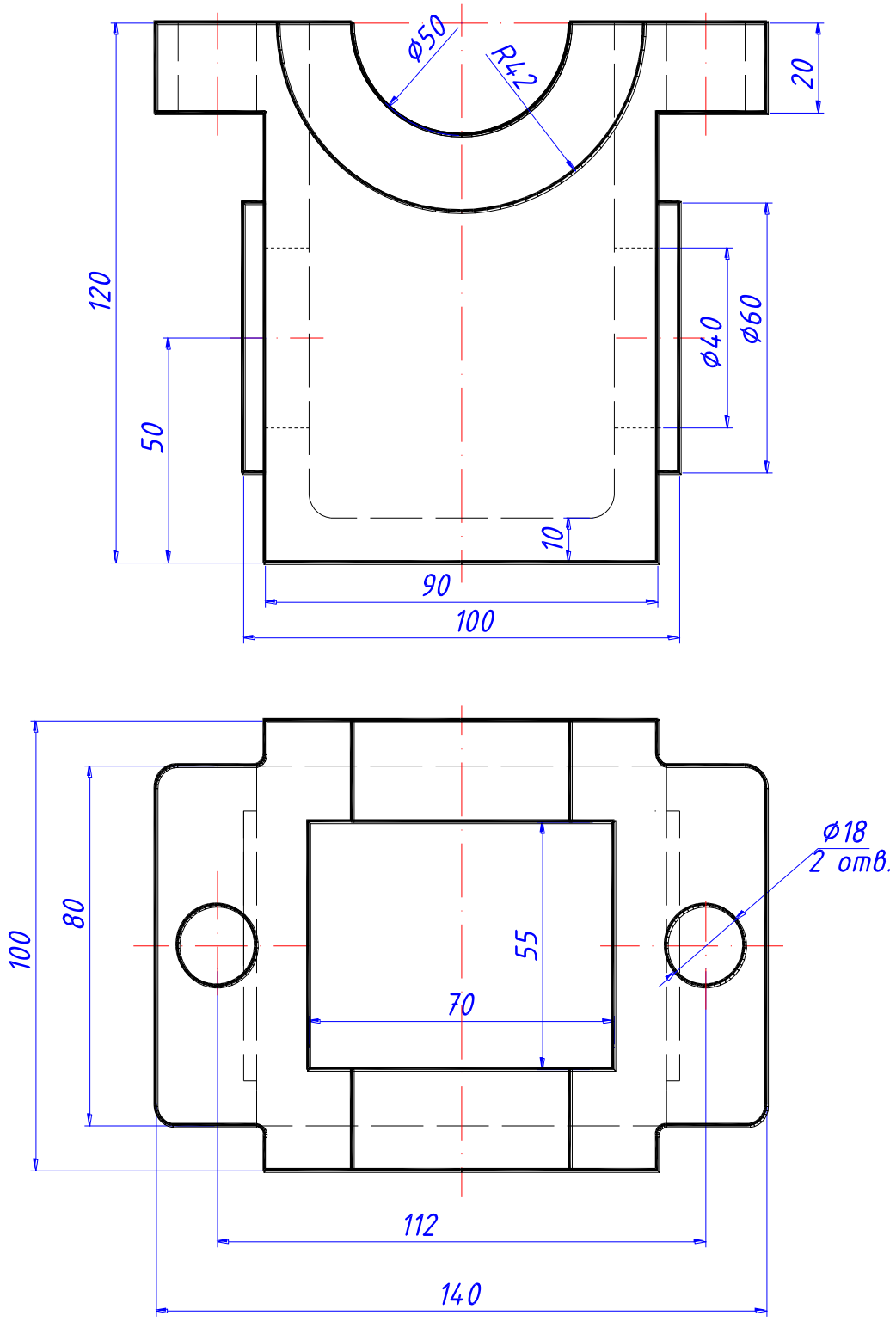
Вариант 5





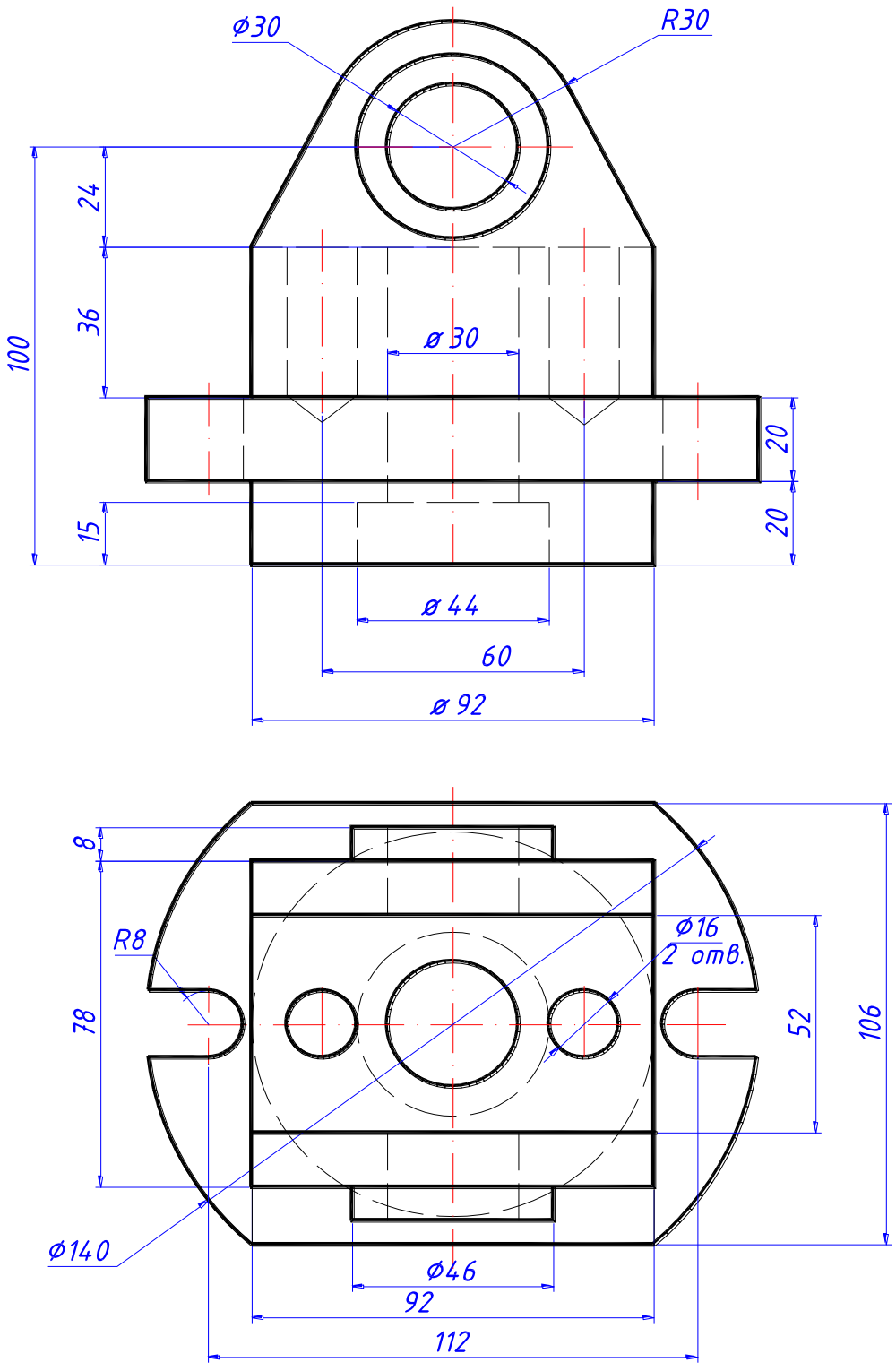
Проушина

Вариант 6



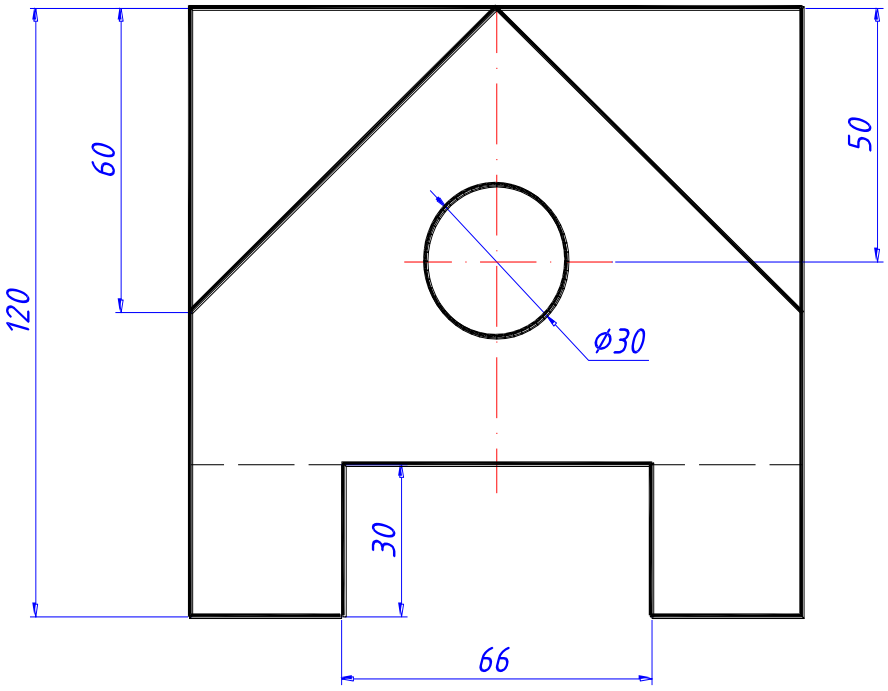
Корпус

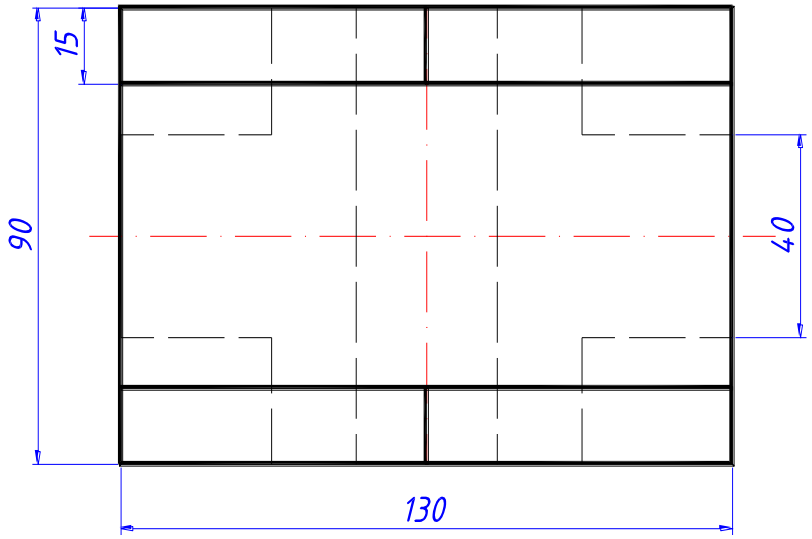
Вариант 7



Проушина

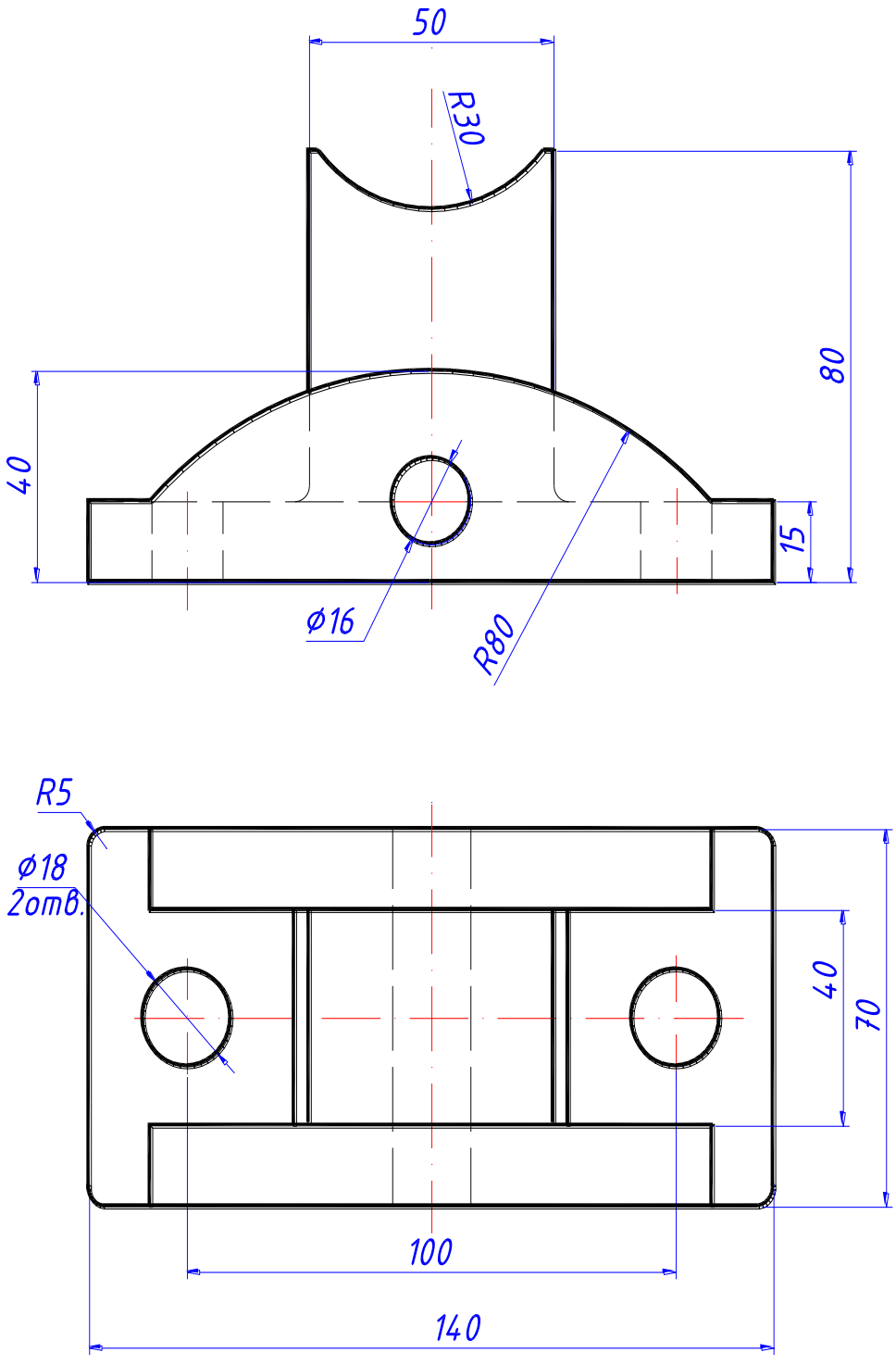
Вариант 8





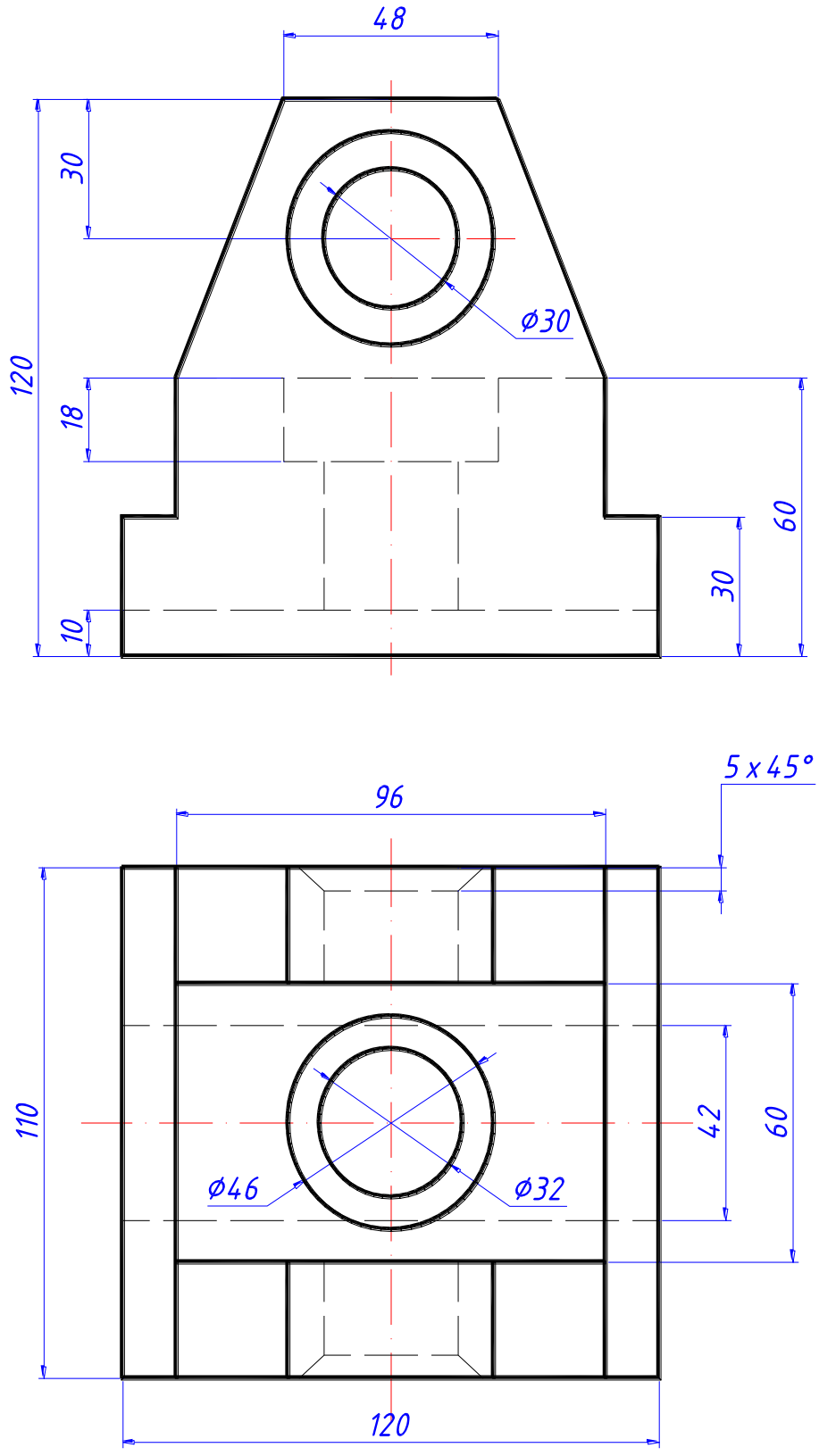
Колодка

Вариант 9



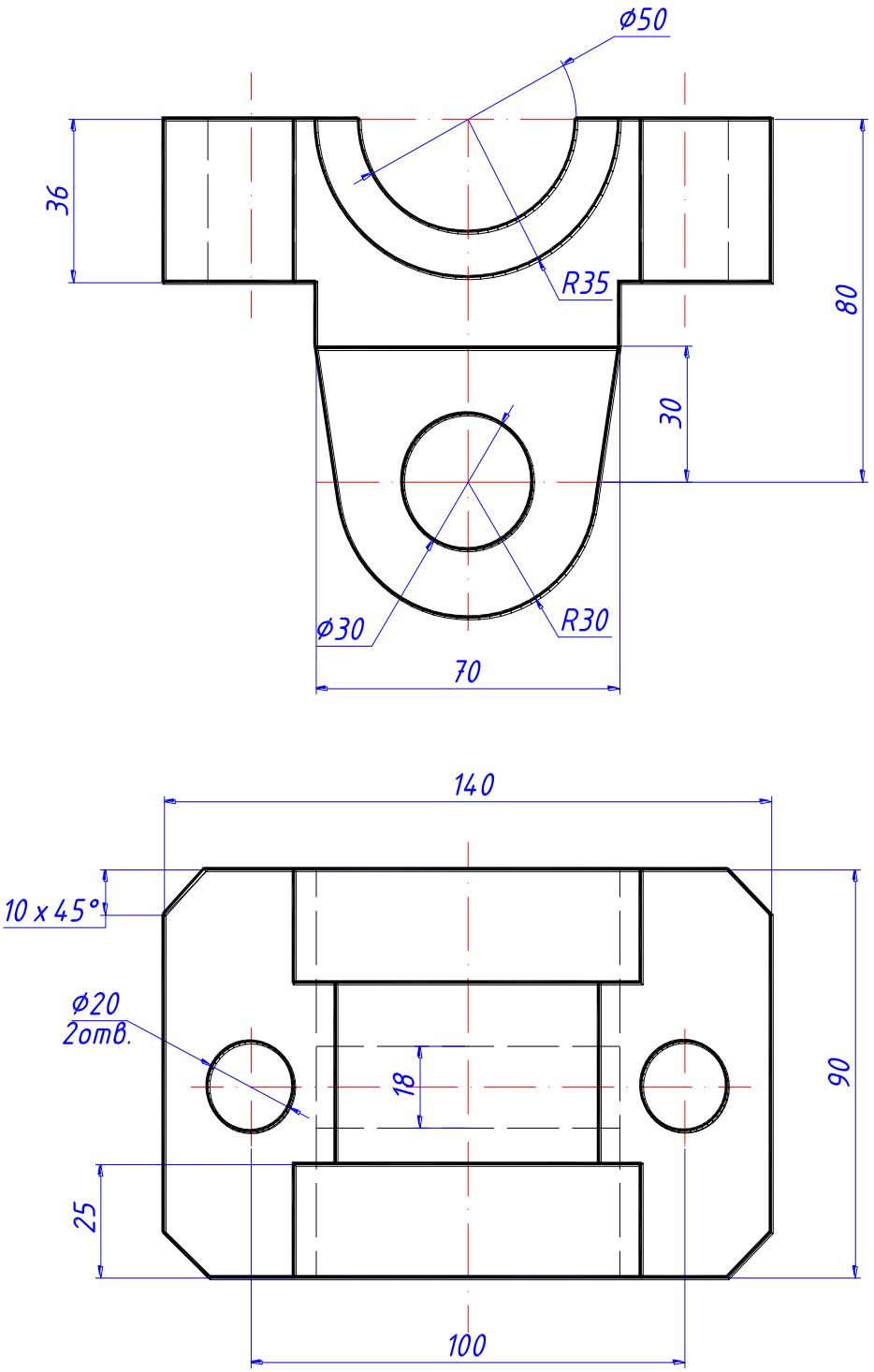
Опора

Вариант 10



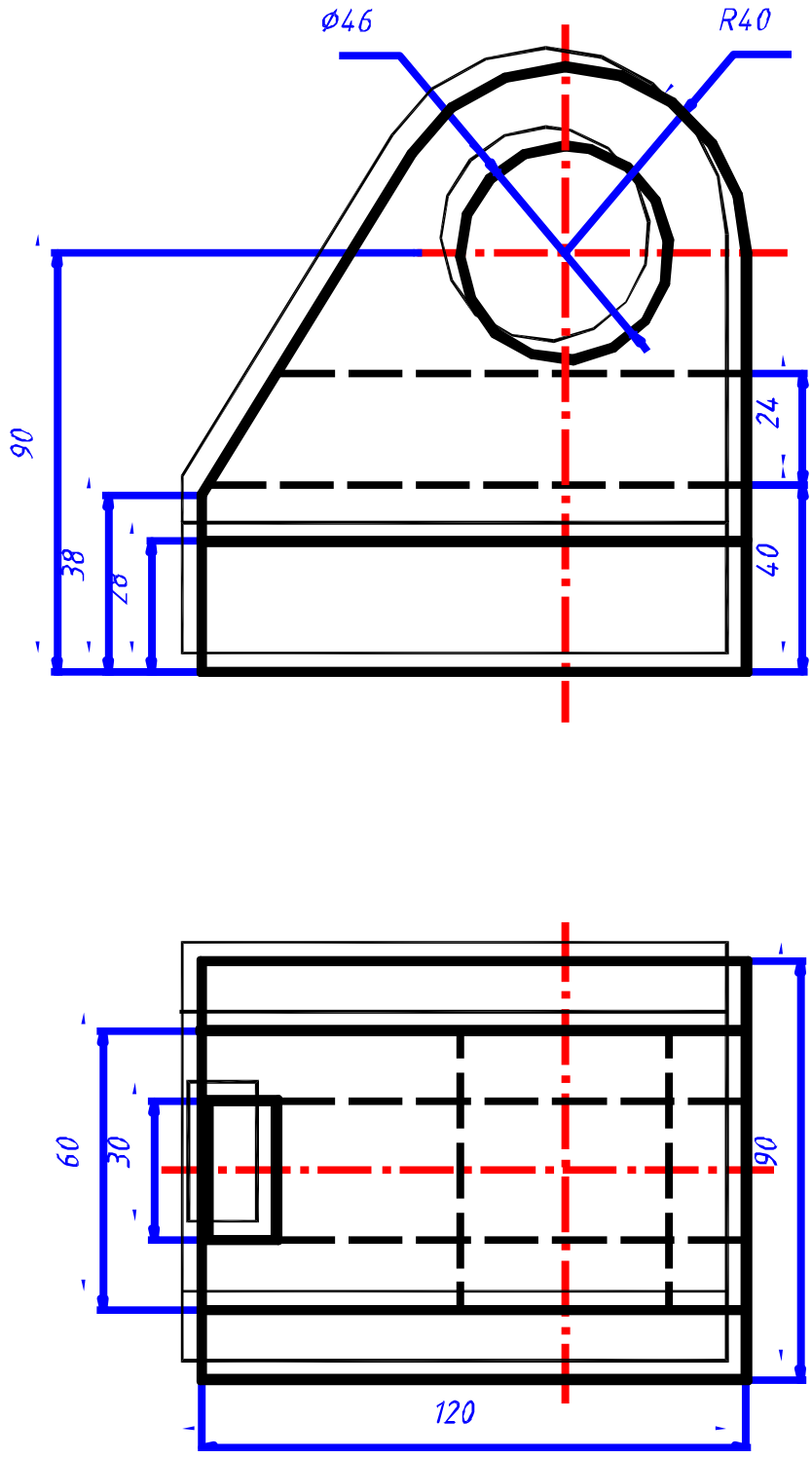
Вилка

Вариант 11



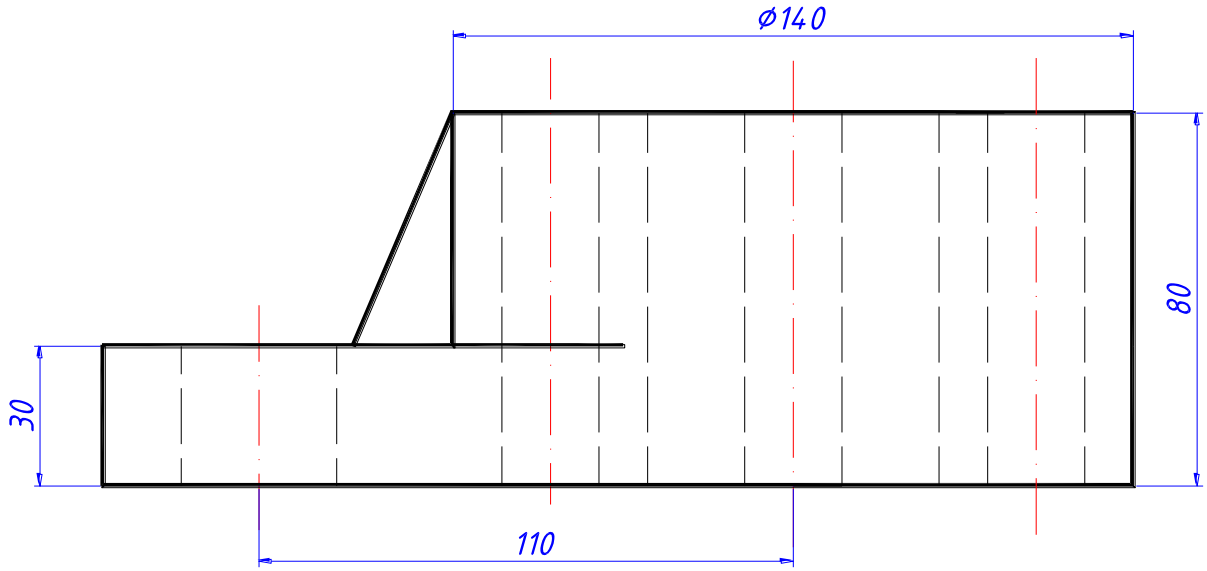
Серьга

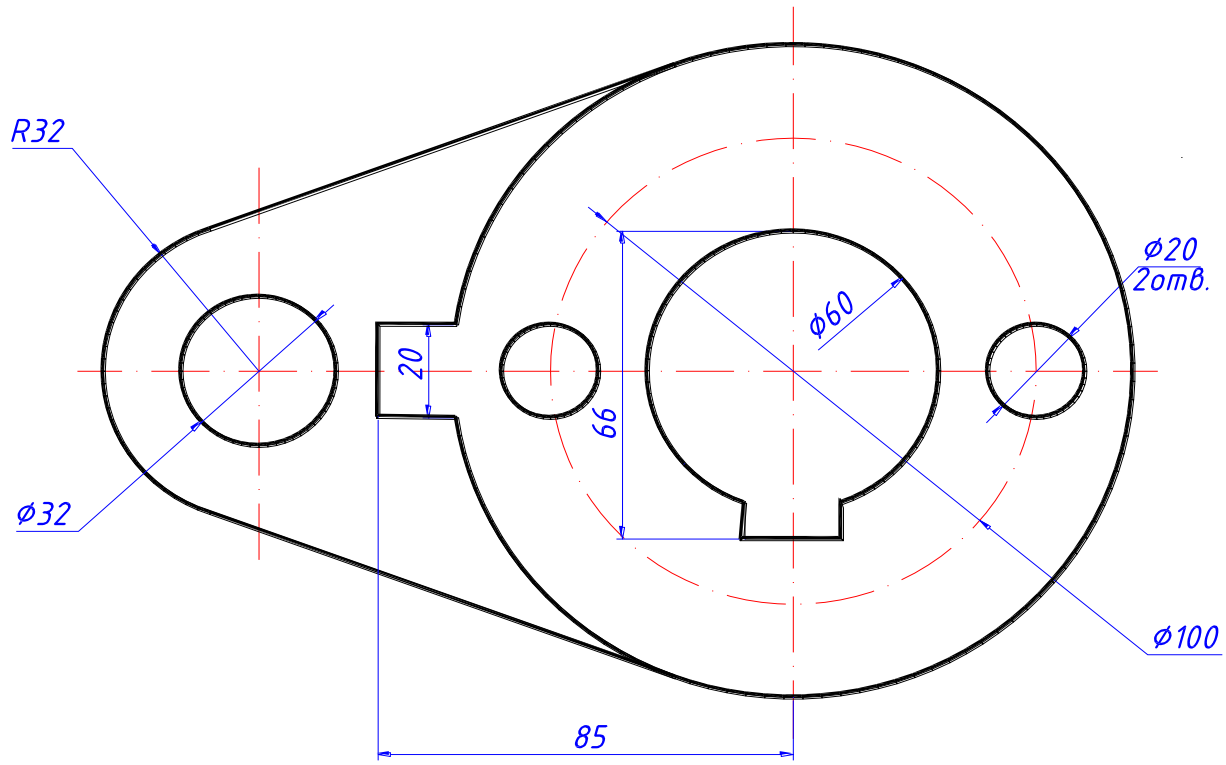
Вариант 12



Вилка

Вариант 13





Основание

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полещук Н. Самоучитель AutoCAD 2016. – Санкт-Петербург: Издательство БХВ-Петербург, 2016. – 464с.

2. Шангина Е.И. Компьютерная графика. Учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2006. – 188с.

3. Хейфец А. Л. Инженерная компьютерная графика. Учебно-справочное пособие.— М.: ДИАЛОГ -МИФИ , 2002, 428 с.

Савина Татьяна Евгеньевна

Методическое пособие
по выполнению практической
работы «Создание проекционного чертежа средствами AutoCAD» по дисциплинам:
«Инженерная и компьютерная графика»,
«Начертательная геометрия. Инженерная и компьютерная графика».

Редактор

Подписано в печать_____.2017 г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/8. Печать на ризографе.
Гарнитура Times New Roman .Печ. л. ___. Уч.- изд. 0,83. Тираж 150 экз.
Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинала – макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

Б1.Б.14 Учебно-методическое пособие
по выполнению графической работы
для студентов всех специальностей

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Направленность (профиль)
Производство и реновация машин и оборудования

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Фролов А.П.

Одобрена на заседании кафедры
Инженерной графики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Шангина Е. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 5 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ 7

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ СПОСОБОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ ВЗАИМНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ СПОСОБОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СФЕР 14

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ КРИВОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МНОГОГРАННИКА 19

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ …..……..20

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое учебно–методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам при выполнении графической работы «Эпюр №3» по курсу «Начертательная геометрия. Инженерная графика».

При выполнении данной работы студент должен научиться методике определения взаимного пересечения кривых поверхностей. Эти знания горному инженеру могут пригодиться при решении конкретных технических задач. Известно, что в условиях горно-обогатительных предприятий одним из наиболее распространенных видов транспорта является трубопроводный транспорт. Большинство конструкций, предназначенных для транспортировки и хранения жидких и пульпообразных продуктов обогащения, выполняется из листового материала путем его изгибания и соединения краев пайкой, сваркой и т. п. Корпуса многих машин и аппаратов, применяемых при обогащении полезных ископаемых, также изготавливаются этими способами. Поверхности трубопроводов для транспортировки жидкостей и пульп, как известно, представляют собой цилиндры. Различные емкости и корпуса обогатительного оборудования ограничены цилиндрическими, коническими, сферическими, а также гранными поверхностями.

При проектировании подземных горных выработок может возникнуть необходимость построения линий перехода поверхностей этих выработок, которые, как известно, представляют собой сочетания поверхностей вращения и гранных поверхностей.

В данной работе рассмотрены основные способы построения линий взаимного пересечения различных поверхностей, в частности, приведена методика применения вспомогательных плоскостей и вспомогательных сфер.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

Задание «Эпюр №3» предназначено для закрепления знаний студентов по теме «Взаимное пересечение поверхностей» и состоит из двух чертежей.

На первом чертеже необходимо определить линии взаимного пересечения поверхностей. В качестве исходных данных первого чертежа предложена композиция из поверхностей вращения и поверхностей многогранников. Для определения линии взаимного пересечения поверхностей (в первой задаче) рекомендуется применять способ вспомогательных секущих плоскостей. Чертеж необходимо выполнить в трех проекциях. Невидимый контур наносится штриховой линией.

Второй чертеж состоит из двух проекций заданных поверхностей. В качестве исходных данных дана композиция из двух или трех поверхностей вращения. Для решения задачи по определению взаимного пересечения поверхностей рекомендуется способ вспомогательных сфер. Невидимый контур наносится штриховой линией.

Оба чертежа рекомендуется выполнять в масштабе 1:1 на одном формате А 2. Пример выполнения задания приведен на рис. 6.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для определения линии взаимного пересечения поверхностей обычно применяют метод поверхностей-посредников. В качестве посредников могут быть использованы вспомогательные секущие плоскости и вспомогательные секущие сферы. Вспомогательные секущие плоскости могут быть использованы в том случае, если можно подобрать такое множество плоскостей, каждая из которых пересекает заданные поверхности по простым (с точки зрения построения) линиям. Таких линий, как известно, всего две – прямая и окружность.

Если даны две пересекающиеся поверхности α и β, и необходимо определить на чертеже линию их пересечения, то для этого достаточно построить проекции ряда точек, принадлежащих обеим заданным поверхностям. Соединив одноименные проекции полученных точек определим искомую линию пересечения на чертеже. Таким образом, задача сводится к определению множества точек, общих для заданных поверхностей.

Методику определения таких точек можно свести к следующим действиям:

1) задаем вспомогательную секущую плоскость γ, исходя из условия изложенного выше;
2) определяем линии пересечения a и b вспомогательной плоскости γ и с заданными поверхностями α и β;
3) определяем точку (точки) пересечения K и M полученных линий a и b;

Задав множество подобных плоскостей, определим ряд точек, принадлежащих обеим заданным поверхностям.

Более подробно и конкретно применение данной методики будет показано в следующем разделе.

Способ вспомогательных секущих сфер применяется в том случае, если в пространстве имеется множество сфер, каждая их которых пересекает заданные поверхности по окружностям. В частности, этот способ может быть применен для определения линии пересечения поверхностей вращения с пересекающимися осями вращения. При этом центр вспомогательных сфер должен находиться в точке пересечения осей вращения поверхностей, а сферы - расположены концентрически.

Эксцентрические сферы применяются в том случае, если оси поверхностей вращения не пересекаются, а также для определения линий взаимного пересечения циклических поверхностей. Положение центра для каждой вспомогательной сферы определяется в каждом конкретном случае и индивидуально.

Если даны две поверхности α и β, то общая методика определения точек, принадлежащих линиям пересечения этих поверхностей, состоит из следующих действий:

1. Задаем вспомогательную секущую сферу φ, пересекающую обе поверхности α и β.
2. Определяем окружности m и l, по которым сфера φ пересекает поверхности α и β.
3. Определяем точки пересечения E и F окружностей m и l.

Задав множество подобных вспомогательных сфер, определим ряд точек, принадлежащих обеим заданным поверхностям.

Более подробно данная методика будет рассмотрена в последующих разделах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ СПОСОБОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Методика реализации способа плоскостей была рассмотрена в предыдущем разделе. Основной проблемой при решении конкретной задачи является проблема выбора пространственного положения плоскостей-посредников. Совершенно очевидно, что для поверхностей с параллельными осями вращения следует выбирать вспомогательные плоскости, расположенные перпендикулярно осям вращения.

Характерный пример такого положения показан на рис. 1. В данном случае оси вращения поверхностей расположены вертикально, следовательно, если пересечь обе поверхности горизонтальной плоскостью, то в их сечении получатся окружности. Решение следует начинать с определения характерных точек. Совершенно очевидно, что точки 1, 2 и 3 являются характерными точками с экстремальными координатами *z*. Точки 2 и 3 лежат на окружностях оснований поверхностей и имеют минимальную координату *z*. Точка 1 имеет максимальную координату *z* и ее фронтальная проекция определяется пересечением очерков фронтальных проекций заданных поверхностей. Для определения промежуточных точек линии пересечения зададим вспомогательную плоскость α. Фронтальный след этой плоскости α_v в данном случае параллелен оси *X*. Плоскость α пересекает поверхность сферы по окружности радиуса *R* и поверхность конуса по окружности радиуса *r*. Эти окружности отображаются на горизонтальную плоскость проекций без искажения.

Таким образом, построив горизонтальные проекции этих окружностей, определим горизонтальные проекции точек 6 и 7, принадлежащих обеим заданным поверхностям. Фронтальные проекции этих точек определим с помощью линий связи из условия их принадлежности следу α_v. Задав множество подобных плоскостей, определим ряд точек, принадлежащих обеим заданным плоскостям. Соединив одноименные проекции точек между собой, построим проекции искомой линии пересечения.

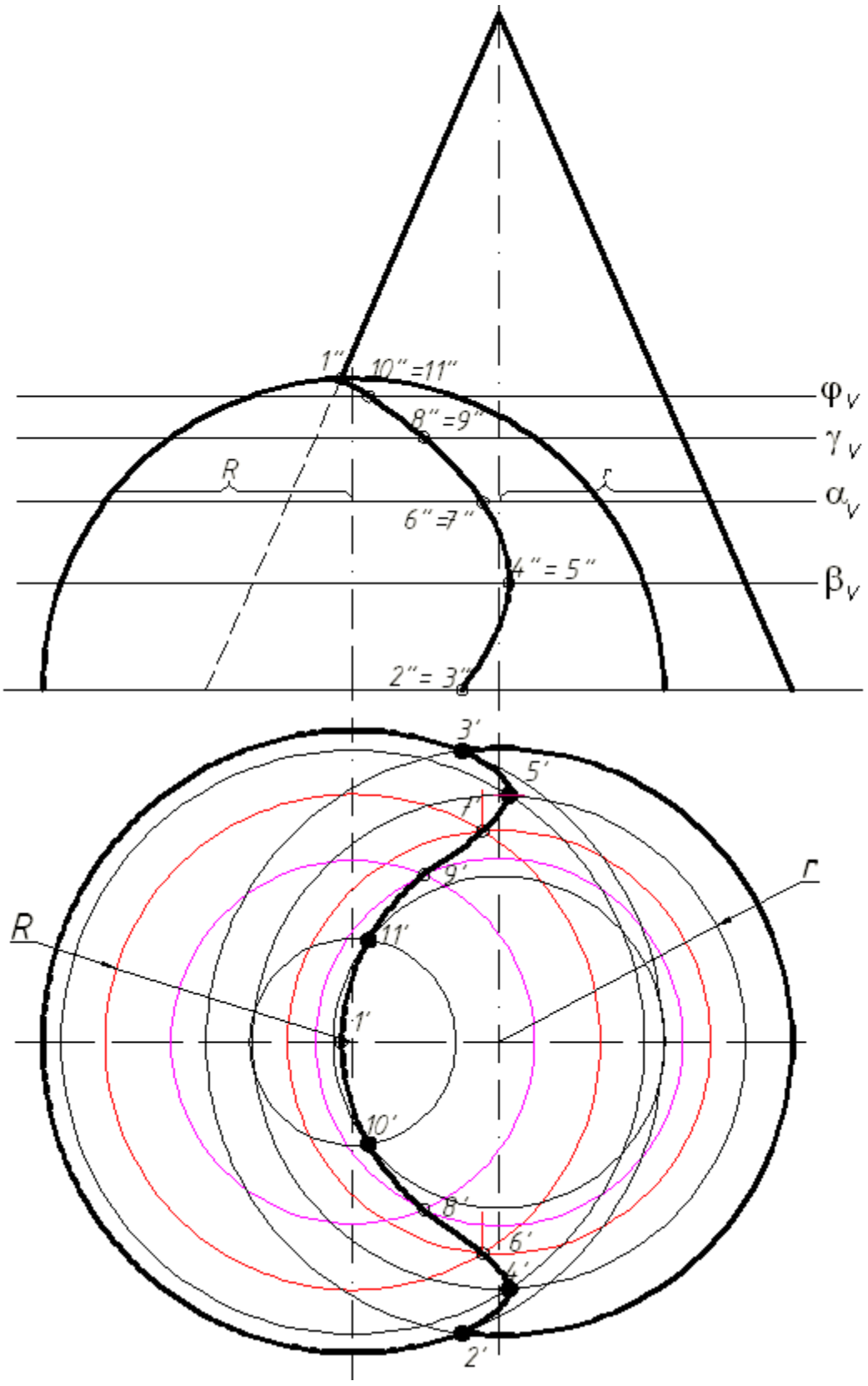


Рис. 1. Определение линии пересечения поверхностей вращения способом вспомогательных плоскостей

Совершенно очевидно, что горизонтальная проекция линии пересечения видима полностью, так как эта линия находится выше экватора сферы, горизонтальная проекция которого совпадает с очерком.

Что касается фронтальной проекции, то можно утверждать, что видимая часть проекции совпадает с невидимой частью, поскольку линия пересечения поверхностей симметрична относительно плоскости симметрии композиции из заданных поверхностей.

На рис. 2 показан еще один пример решения задачи по определению линии пересечения поверхностей вращения. Необходимо определить линии пересечения поверхности сферы и поверхности цилиндра вращения.

Общая методика решения этой задачи аналогична методике решения предыдущей задачи и сводится к заданию множества вспомогательных плоскостей.

В данном случае более рационально воспользоваться фронтальными вспомогательными плоскостями. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что цилиндр занимает горизонтально-проецирующее положение и, следовательно, горизонтальная проекция искомой линии пересечения совпадает с очерком горизонтальной проекции цилиндра.

Для построения фронтальной проекции воспользуемся фронтальными вспомогательными плоскостями. Совершенно очевидно, что точки 4 и 10 являются точками с экстремальными координатами *y*, следовательно, вспомогательные секущие плоскости будут располагаться между этими двумя точками. Для определения фронтальных проекций этих точек зададим фронтальные плоскости γ и ρ. Эти плоскости пересекут поверхность сферы по двум окружностям радиусами R_1 и R_2 соответственно. Построив фронтальные проекции этих окружностей, определим фронтальные проекции точек 4 и 10 с помощью соответствующих линий связи. Важным моментом при решении подобных задач является методика определения точек с экстремальными координатами *z*.

В данном случае эти точки 5 и 11 лежат в плоскости симметрии, общей для обеих поверхностей. Совершенно очевидно, что эта плоскость *P* является горизонтально-проецирующей, которая определена осями вращения заданных поверхностей. В плоскости *P* лежат точки 5 и 11, горизонтальные проекции которых лежат в пересечении P_H и очерка горизонтальной проекции цилиндра.

Для определения фронтальной проекции этих точек зададим две фронтальные плоскости λ и ε, которые пересекут поверхность сферы по окружностям радиусов R_3 и R_4 соответственно. На фронтальных проекциях

этих окружностей строим точки 5″ и 11″. С помощью плоскостей λ и ε определим также точки 3 и 9. Их фронтальные проекции 3″ и 9″ лежат соответственно на окружностях радиусов R_3 и R_4. Точки 1 и 7 имеют экстремальные координаты X и определяются с помощью плоскости β. Задав множество фронтальных вспомогательных плоскостей, определим ряд точек, принадлежащих обеим заданным плоскостям. Соединив фронтальные проекции этих точек между собой, построим фронтальную проекцию линии пересечения заданных поверхностей. Для определения видимости фронтальной проекции полученной линии необходимо определить границу видимости. Совершенно очевидно, что эта граница определяется двумя точками, а именно – 1 и 7, поскольку фронтальные проекции этих точек лежат на очерковых линиях фронтальной проекции цилиндра. Таким образом, проекции 1″, 2″, 3″ 4″, 5″, 6″, 7″ невидимы. Что касается видимости горизонтальной проекции линии пересечения, то совершенно очевидно, что она вся видна, так как границей видимости является экватор сферы.

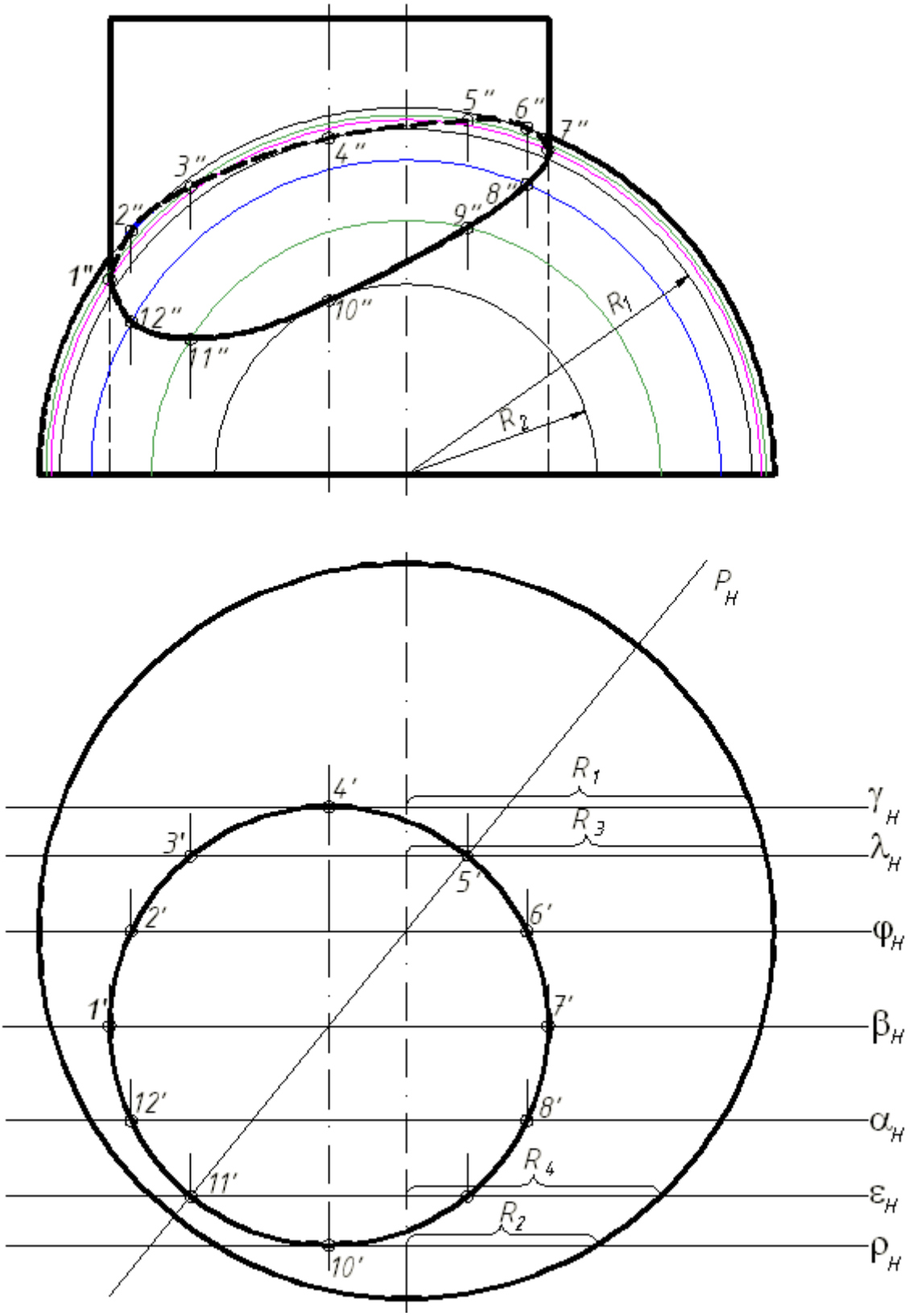


Рис. 2. Определение линии пересечения поверхностей вращения способом вспомогательных плоскостей

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНИИ ВЗАИМНОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ СПОСОБОМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СФЕР

Общая методика реализации способа вспомогательных сфер была рассмотрена в предыдущем разделе. При решении конкретной задачи этим способом необходимо определить пространственное положение центра каждой сферы. Каждая сфера должна быть расположена таким образом, чтобы она пересекала обе заданные поверхности по окружностям. Существуют две модификации способа вспомогательных сфер. В том случае, если оси вращения заданных поверхностей пересекаются между собой, для решения задачи следует применить концентрические сферы, т. е. сферы с единым центром. При этом центр сфер находится в точке пересечения осей вращения поверхностей. Известно, что если соосные поверхности вращения пересекаются, то линия их пересечения представляет собой окружность. Таким образом, если центр сферы находится в пересечении осей вращения поверхностей, то эта сфера будет соосна с обеими поверхностями и будет пересекать обе поверхности по окружностям. Если эти окружности пересекаются между собой, то точки их пересечения будут принадлежать обеим заданным поверхностям. Основной проблемой в этом случае является подбор таких вспомогательных сфер, которые пересекали бы обе поверхности, кроме того, непременным условием решения задачи является наличие общих точек полученных линий пересечения. На рис. 3. приведен конкретный пример применения концентрических сфер для решения задачи по определению линии пересечения поверхностей вращения с пересекающимися осями. Совершенно очевидно, что центр вспомогательных сфер находится в точке O, которая является точкой пересечения осей вращения поверхностей. Решение задачи следует начинать с определения диапазона изменения радиуса вспомогательных секущих сфер. Сфера максимального радиуса, как правило, проходит через точку пересечения очерковых образующих, в данном случае эта сфера проходит через точку 1 (рис. 3). Очерк фронтальной проекции сферы, таким образом, определяется проекцией $1''$. Сфера минимального радиуса обычно касательна к одной заданной поверхности и пресекает другую. В данном случае сфера минимального радиуса $R_{\min}$ касается поверхности конуса по окружности радиуса r_1 и пересекает поверхность цилиндра по окружности, фронтальная проекция которой представляет собой отрезок $A''B''$. Эта окружность, пересекаясь с окружностью радиуса r_1, дает две точки.

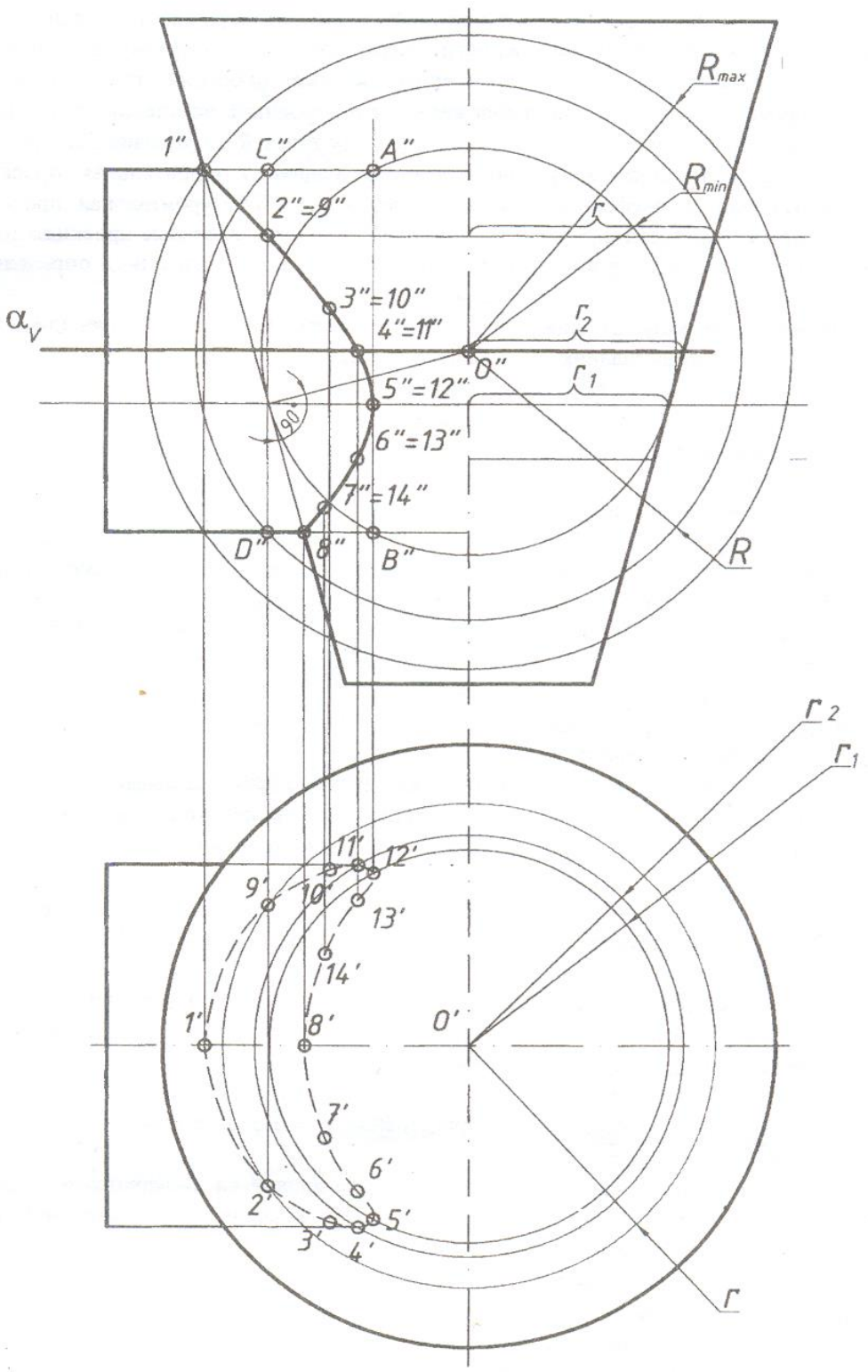


Рис. 3. Определение линии пересечения поверхностей вращения способом вспомогательных плоскостей

Фронтальные проекции этих точек на чертеже обозначены 5″ и 12″. Эти точки являются характерными, так как носят экстремальный характер. В данном случае они имеют минимальную координату *x*. Горизонтальные проекции 5′ и 12′ лежат на окружности радиуса r_1 и определены с помощью линии связи.

Определим остальные характерные точки. Фронтальные проекции точек 1 и 8 определены в пересечении очерков фронтальных проекций заданных поверхностей. Эти точки являются характерными, поскольку имеют экстремальные координаты *z*. Горизонтальные проекции этих точек лежат на оси, симметрии горизонтальной проекции данной композиции. Для определения точек, имеющих экстремальные координаты *y*, удобно воспользоваться горизонтальной плоскостью α, проходящей через ось заданного цилиндра.

Эта плоскость пересекает поверхность конуса по окружности радиуса r_2. Горизонтальная проекция этой окружности, пересекаясь с очерковыми линиями горизонтальной проекции цилиндра, дает горизонтальные проекции точек 4 и 11. Фронтальные проекции этих точек принадлежат α_v и построены с помощью линий связи. Для определения промежуточных точек зададим сферу радиуса *R* из условия $R_{max}>R>R_{min}$. Эта сфера пересечет поверхность конуса по окружности радиуса *r*. Фронтальная проекция окружности пересечения этой сферы с цилиндром обозначена *C″D″*. Фронтальная проекция окружности радиуса *r*, пересекаясь с *C″D″*, определит 2″и 9″. Горизонтальные проекции точек 2 и 9 определены по их принадлежности окружностям радиуса *r*. Точки 6 и 13 определены аналогично.

Определим видимость проекций линии пересечения. Совершенно очевидно, что линия взаимного пересечения заданных поверхностей симметрична относительно плоскости симметрии общей для обеих заданных поверхностей. Следовательно, видимая часть фронтальной проекции линии пересечения совпадает с её невидимой частью. Таким образом, фронтальная проекция линии выполняется сплошной основной. Что касается горизонтальной проекции линии пересечения, то можно утверждать, что вся она будет невидима, так как она находится ниже верхнего основания цилиндра.

На рис. 4 приведен пример определения линии пересечения с помощью эксцентрических сфер. Как и во всех предыдущих примерах, решение задачи следует начинать с определения характерных точек. В данном случае фронтальные проекции 1″, 2″ этих точек могут быть легко определены в пересечении очерков фронтальных проекций заданных поверхностей. Горизонтальные проекции этих точек (1′, 2′) лежат на осевой линии очерков горизонтальных проекций поверхностей.

Основной проблемой реализации способа эксцентрических сфер является методика определения центра сферы. В данном случае поверхность тора может быть представлена как множество окружностей, каждая из которых лежит в плоскости, проходящей через ось вращения поверхности. Совершенно очевидно, что окружности, необходимые для решения данной задачи, лежат в плоскостях, расположенных между плоскостями α и ω, проходящими через характерные точки 1″ и 2″.

Зададим в этом диапазоне вспомогательную секущую плоскость β, которая пересечет поверхность тора по окружности, проходящей через точки точки *A* и *B*. Центр этой окружности - точка *C*.

Представим себе, что через точку *C* проходит ось воображаемого цилиндра вращения, которая параллельна фронтальной плоскости проекций. Эта ось, пересекаясь с осью конуса, даст точку O_1. Из полученной точки O_1 задаем вспомогательную сферу радиуса R_1, которая проходит через окружность с центром *C*. В этом случае очерк фронтальной проекции сферы пройдет через *A″* и *B″*. Заданная сфера пересечет поверхность конуса по окружности радиуса r_1.

Эта окружность, пересекаясь с окружностью, лежащей на поверхности тора и имеющей в качестве центра точку *C*, даст две точки – 3 и 4. Фронтальные проекции этих точек лежат на *A″B″*. Горизонтальные проекции лежат на окружности радиуса r_1 с центром O_1'. Точки 5 и 6 определены с помощью вспомогательной плоскости γ и вспомогательной сферы радиуса R_2 с центром O_2'. Определим видимость проекций линии пересечения. Совершенно очевидно, что горизонтальная проекция этой линии видима, поскольку сама линии пересечения лежит на верхней половине тора. Что касается фронтальной проекции, то её видимая часть совпадает с невидимой частью, поэтому фронтальная проекция линии пересечения выполнена сплошной основной.

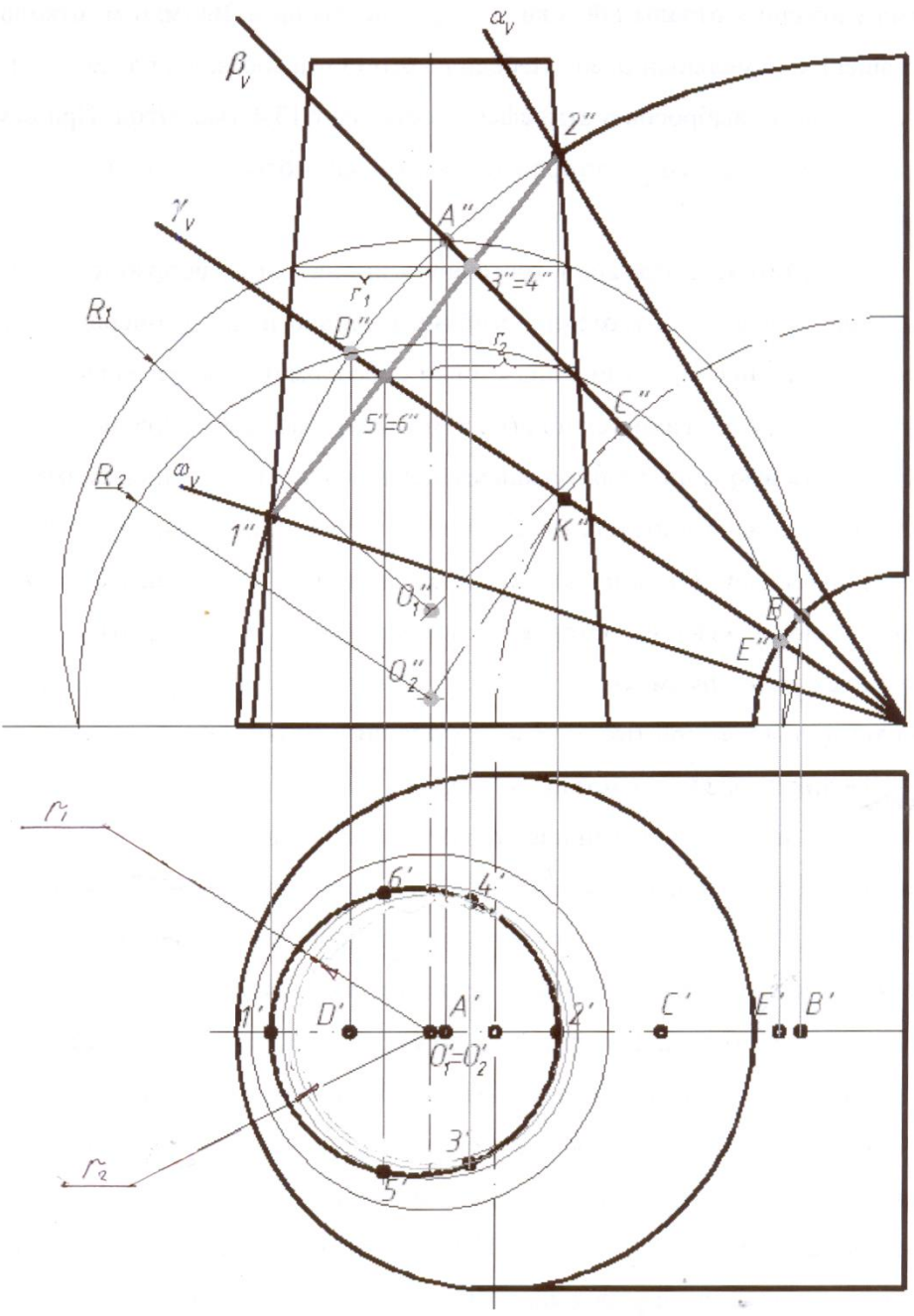


Рис. 4. Определение линии пересечения с помощью способа эксцентрических сфер

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ КРИВОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МНОГОГРАННИКА

Решение задачи на определение пересечения кривой поверхности с гранной поверхностью в общем случае сводится к определению точек пересечения прямой с кривой поверхностью и линии пересечения плоскости с кривой поверхностью. Основным методом решения таких задач является метод вспомогательных секущих плоскостей. Методика реализации этого метода приведена в разделе «Основные понятия и определения». На рис. 5 показано построение проекций линии пересечения конуса вращения с поверхностью призмы. В результате сечения поверхности конуса призмой образуется ломаная кривая линия. Призматическая поверхность образована четырьмя фронтально-проецирующими плоскостями, фронтальные следы которых обозначены на чертеже P_V, T_V, S_V и Q_V. Вполне очевидно, что фронтальная проекция линии пересечения заданных плоскостей представляет собой прямоугольник, поскольку плоскости P_V, T_V, S_V и Q_V занимают фронтально-проецирующее положение. Построим горизонтальную проекцию линии пересечения. Для этого зададим вспомогательную секущую плоскость α, которая проходит через ребро призматической поверхности. Заданная плоскость пересечет поверхность конуса по окружности радиуса R_1. На этой окружности лежат точки 1, 11, 5 и 15. Для построения горизонтальных проекций этих точек, построим окружность радиуса R_1 с центром S'. Для определения $1'$, $11'$, $5'$ и $15'$ проведем вертикальные линии проекционной связи до пересечения с соответствующей окружностью радиуса R_1. Для построения проекций остальных точек зададим множество горизонтальных плоскостей, параллельных плоскости α. Последовательно соединив одноименные проекции определенных точек, получим проекции искомой линии пересечения.

Обратим внимание на то обстоятельство, что данная задача может быть решена также с помощью секущих плоскостей, проходящих через вершину конуса. В этом случае коническая поверхность будет пересекаться по прямым, проходящим через вершину конуса.

Общий алгоритм решения подобных задач такой же, как при решении задачи на построение линии пересечения поверхностей вращения.

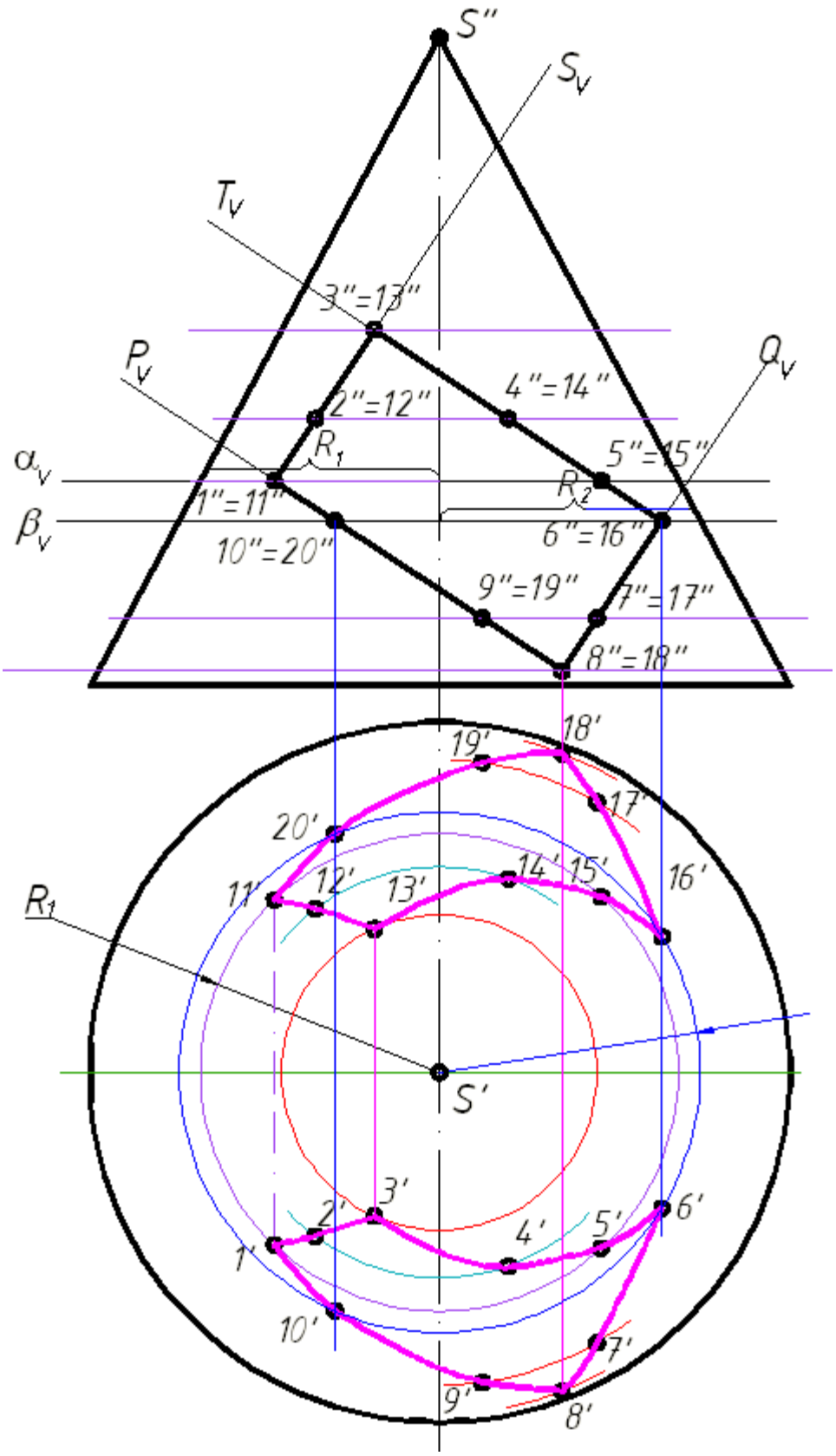


Рис. 5. Построение линии пересечения кривой и гранной поверхности

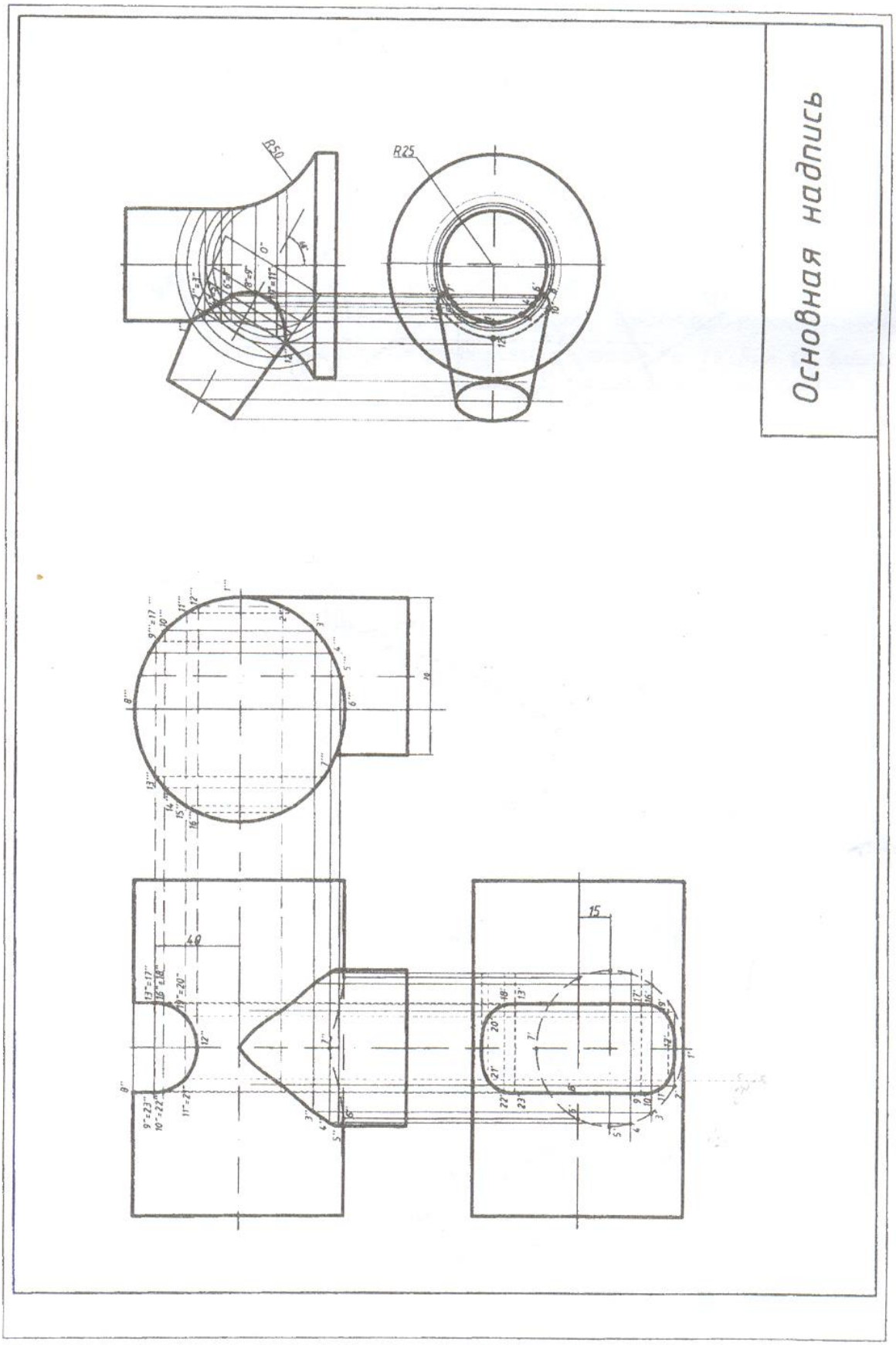


Рис. 6. Пример выполнения задания

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Гордон В. О., Семенцов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии: учебное пособие для втузов – М.: Наука, 2007. –271 с.

Фролов С. А. Начертательная геометрия: учебник. – 3 изд. перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008. -281 с.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Б1.Б.14 Учебно-методическое пособие по выполнению графической работы для студентов всех специальностей 3-е издание, переработанное

Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение

Направленность (профиль)
Производство и реновация машин и оборудования

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Фролов А. П.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Инженерной графики	горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Шангина Е. И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 5 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……..… 4

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ……...5

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ ……7

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ …..... 13

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ……..... 18

ВВЕДЕНИЕ

Болтовые соединения широко применяются во всех отраслях промышленности и строительства, трудно представить себе машину или механизм без этого вида соединения.

При выполнении машиностроительных чертежей значительную часть времени конструктор затрачивает на вычерчивание изображения крепежных деталей и в частности болтов, гаек и т.д.

В этой связи необходимо отметить, что выполнение всех правил, установленных соответствующими стандартами, а также рекомендаций справочников, учебников, основанных на опыте конструкторов, значительно облегчают и упрощают этот трудоемкий процесс.

Настоящее методическое пособие предназначено для изучения и закрепления знаний, указанных правил и рекомендаций.

Работа содержит исходные данные индивидуальных заданий, описание основных крепежных деталей болтового соединения, методику определения размеров, необходимых для выполнения чертежа соединения деталей болтами различных конструкций, а также принципы формирования условных обозначений крепежных деталей.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Чертеж болтового соединения является частью задания «Условности машиностроительного черчения». Это задание выполняют студенты технологических и механических специальностей университета.

Работу выполняют в формате А 4 карандашом. Оформляется чертеж в соответствии с требованиями ЕСКД. Масштаб изображения следует выбирать в зависимости от размеров крепежных деталей.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

Чертеж болтового соединения (рис. 2) содержит три изображения: полный фронтальный разрез, расположенный на месте главного вида, вид сверху и вид слева; на изображениях следует нанести обозначения резьбы, длину болта и размер под ключ. Кроме того, чертеж должен содержать условные обозначения крепежных изделий.

В качестве исходных параметров для выполнения чертежа дана толщина соединяемых деталей и вид крепежных изделий, определенный стандартами, а также размер резьбы болта. Эти данные приведены в таблице 1.

Общие сведения о крепежных деталях болтового соединения.

Соединение деталей болтом обычно состоит из трех стандартных крепежных изделий: болт, гайка и шайба. В некоторых случаях, обычно когда болтовое соединение работает в условиях повышенной вибрации, для предотвращения самопроизвольного отвинчивания гайки применяются шплинты (рис. 1). ***Шплинтом*** называется изделие, изготовленное из стальной проволоки полукруглого сечения, сложенной вдвое и предназначенное для фиксирования болта относительно гайки. Основными параметрами шплинта является его длина l и условный диаметр d_o. Условный диаметр шплинта равен диаметру отверстия болта под шплинт.

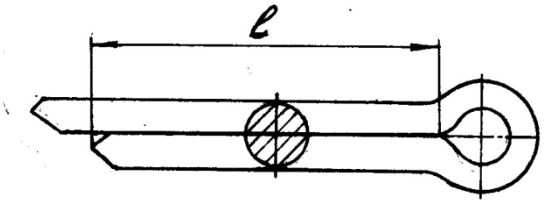


Рис. 1. Шплинт

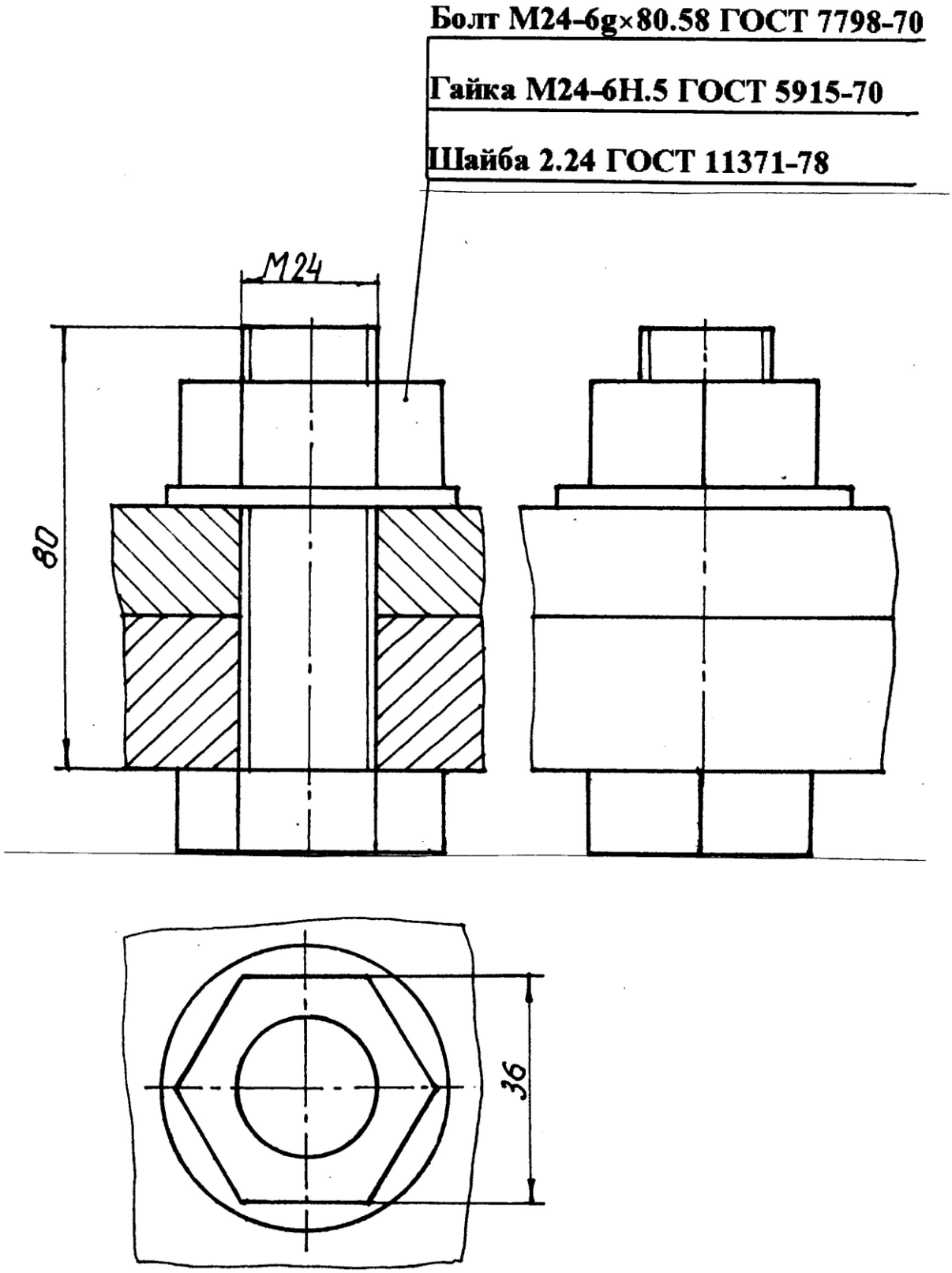


Рис. 2. Чертеж болтового соединения

Исходные данные

Таблица 1

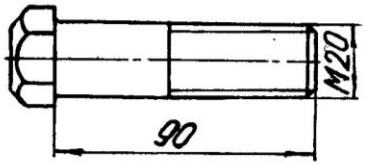
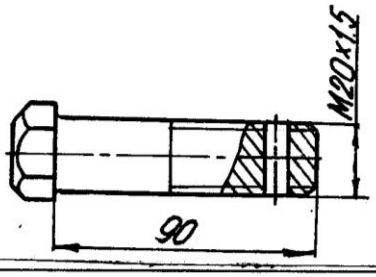
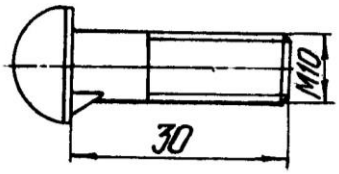
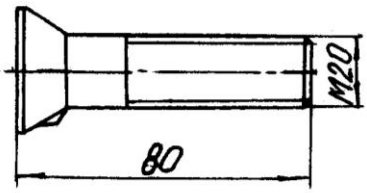
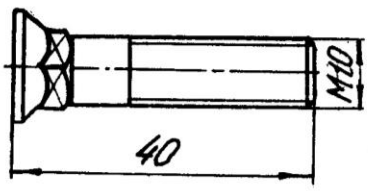
Номер варианта	БОЛТ					ГАЙКА		ШАЙБА
	Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы, мм	Исполнение	Толщина деталей	Номер ГОСТ	Исполнение	Номер ГОСТ	Номер ГОСТ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	20	2,5	1	40 40	7796-70	2	5915-70	11371-78
2	10	1,5	1	30 30	7783-81	1	5916-70	11371-78
3	10	1,25	4	10 20	7798-70	2	5918-73	6958-78
4	12	1,75	2	20 40	7785-81	2	5916-70	11371-78
5	12	1,25	1	15 20	7805-70	-	5927-70	10450-78
6	16	2,0	-	20 20	7786-81	1	5915-70	11371-78
7	24	2,0	2	30 40	7796-70	1	5918-73	11371-78
8	10	1,5	1	30 30	7783-81	1	3032-76	10450-78
9	12	1,75	3	20 30	7798-70	-	15523-70	6402-70
10	12	1,75	-	20 50	7786-81	2	3032-76	6958-78
11	16	2,0	2	30 30	7805-70	-	5918-73	11371-78
12	16	2,0	1	40 40	7785-81	1	3032-76	10450-78
13	30	3,5	3	50 40	7796-70	1	5916-70	6958-78
14	20	2,5	2	30 50	7783-81	2	3032-76	6958-78
15	16	1,5	2	20 20	7798-70	1	5918-73	10450-78
16	10	1,5	2	15 15	7785-81	1	3032-76	10450-78
17	20	1,5	3	40 10	7805-70	-	5927-70	11371-78
18	12	1,75	-	10 40	7786-81	2	3032-76	6958-78
19	40	3,0	4	50 50	7796-70	2	5918-73	6958-78
20	16	2,0	1	40 30	7783-81	1	3032-76	10450-78
21	12	1,75	1	20 10	7798-70	-	15523-70	6402-70
22	20	2,5	1	30 30	7785-81	2	3032-76	6958-78
23	24	3,0	1	50 40	7805-70	-	5927-70	10450-78

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	10	1,5	-	30 50	7786-81	1	3032-76	10450-78
25	16	2,0	1	20 40	7796-70	2	5916-70	11371-78
26	12	1,75	2	20 30	7783-81	2	5915-70	11371-78
27	24	2,0	4	20 30	7798-70	-	15523-70	6402-70
28	16	2,0	1	20 40	7785-81	1	5916-70	11371-78
29	30	3,5	3	40 40	7798-70	-	15523-70	6958-78
30	20	2,5	-	20 40	7786-81	2	5916-70	11371-78
31	12	1,25	2	30 20	7796-70	1	5918-73	10450-78
32	16	2,0	1	15 25	7783-71	1	3032-76	10450-78
33	30	2,0	2	30 40	7805-70	2	5918-73	11371-78
34	6	1,0	1	10 10	7785-81	1	5915-70	6958-78
35	8	1,0	3	10 20	7805-70	-	5927-70	6402-70
36	8	1,25	-	15 20	7786-81	2	3032-76	10450-78
37	10	1,5	3	20 10	7796-70	1	5916-70	11371-78
38	10	1,5	2	20 10	7783-81	2	5915-70	6958-78
39	36	3,0	2	50 10	7798-70	1	5918-73	6958-78
40	12	1,75	2	20 25	7785-81	1	3032-76	10450-78
41	10	1,25	1	15 25	7805-70	-	5927-70	6402-70
42	16	2,0	-	20 15	7786-81	1	5915-70	6968-78
43	20	1,5	5	30 20	7796-70	2	5915-70	11371-78
44	16	2,0	1	10 30	7783-81	2	3032-76	10450-78
45	20	2,5	1	10 30	7798-70	-	15523-70	6402-70
46	6	1,0	1	10 8	7785-81	2	5915-70	6958-78
47	16	1,5	2	30 20	7805-70	2	5918-73	11371-78
48	8	1,25	-	10 12	7786-81	1	3032-76	10450-78
49	24	3,0	1	20 40	7796-70	2	5916-70	6958-78
50	10	1,5	2	10 25	7783-81	1	5915-70	11371-78

Таблица 2

Изображение и обозначение болтов

Изображение	Условные обозначение	Расшифровка обозначения
	Болт М20-6g×90.58 ГОСТ 7798-70	Болт исполнения 1, диаметром резьбы d=20 мм, длиной l=90мм, с крупным шагом резьбы, с полем допуска 6g, класса прочности 5.8, без покрытия.
	Болт 2М20×1,5-6g×90.58 ГОСТ 7798-70	Болт исполнения 2, диаметром резьбы d=20 мм, длиной l=90мм, с мелким шагом резьбы с полем допуска 6g, класса прочности 5.8, без покрытия.
	Болт С М10-6g×30.46.019 ГОСТ 7783-81	Болт с диаметром резьбы d=10 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6g, длиной l=30 мм, класса прочности 4.6, с покрытием 01 толщиной 9 мкм.
	Болт С М20-6g×80.56.019 ГОСТ 7785-81	Болт с диаметром резьбы d=20 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6g, длиной l=80 мм, класса прочности 5.6, с покрытием 01 толщиной 9 мкм.
	Болт С М10-6g×40.46.019 ГОСТ 7786-81	Болт с диаметром резьбы d=10 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6g, длиной l= 40 мм, класса прочности 4.6, с покрытием 01 толщиной 9 мкм.

Условное обозначение шплинта должно содержать условный диаметр, длину, условное обозначение материала и покрытия, толщину покрытия и наименование стандарта. Если шплинт изготовлен из низкоуглеродистой стали, то условное обозначение материала не указывается. При отсутствии покрытия шплинта его вид и толщина в обозначении не указываются.

Например, шплинт с условным диаметром 8 мм, длиной 32 мм из низкоуглеродистой стали без покрытия: *Шплинт 8×32 ГОСТ 379 - 70*.

Основными деталями болтового соединения являются болт и гайка. ***Болт*** представляет собой цилиндрический стержень с головкой на одном конце и резьбой на другом. На резьбовую часть болта навинчивается гайка.

Обычно в болтовом соединении применяются стандартные болты. В зависимости от условий работы и функционального назначения болты могут иметь различную форму стержня, форму и размер головки, параметры резьбы, характер исполнения и т. п. Все эти характеристики детали установлены соответствующим стандартом.

Условное обозначений болта, в общем случае, должно содержать следующие данные: название детали, класс точности, исполнение, условное обозначение резьбы, поле допуска, длину болта, класс прочности, характеристику материала, обозначение вида покрытия, толщину покрытия, условное обозначение стандарта. В условном обозначении болта не указывают исполнение 1, отсутствие покрытия, а также характеристику материала, если деталь выполнена из углеродистой нелигированной стали и соответствует техническим требованиям ГОСТ 1759.4 - 87. Кроме того, не указывают класс точности В, если стандартом на изделие предусмотрено два класса точности (А и В).

Примеры условного обозначения болтов различных конструкций приведены в таблице 2.

Гайка представляет собой деталь, имеющую отверстие с резьбой для навинчивания на болт или шпильку. Как правило, в соединениях применяются стандартные гайки. В некоторых случаях, вследствие специфических условий, могут быть применены гайки нестандартные.

В зависимости от условий эксплуатации соединения устанавливают гайки различных конструкций, например, для соединений работающих в условиях повышенной вибрации, обычно применяют про-

резные и корончатые гайки со шплинтами. В тех случаях, когда необходимо навинчивать гайку вручную, используют гайки–барашки.

Условное обозначение гайки, в общем случае, должно содержать следующие характеристики: название детали, класс точности, исполнение, условное обозначение резьбы, поле допуска, класс прочности, характеристику материала, обозначение вида покрытия, толщину покрытия, условное обозначение стандарта. В условном обозначении гайки не указывают исполнение 1, отсутствие покрытия, а также характеристику метериала, если деталь выполнена из углеродистой нелигированной стали и соответствует требованиям ГОСТ 17595-87. Не указывается в обозначении класс точности В, если стандартом на эту деталь установлено два класса точности (А и В). Примеры обозначения стандартных гаек различных конструкций приведены в таблице 3.

Шайбой называется деталь, которую устанавливают между гайкой или головкой болта и поверхностью одной из деталей. Она служит для предохранения материала детали от повреждения, а также для предотвращения самопроизвольного развинчивания крепежных деталей.

Условные обозначения шайбы включают следующую информацию: название детали, класс точности, если стандарт предусматривает два класса, исполнение, диаметр резьбы крепежной детали, толщину шайбы, условное обозначение марки (группы) материала, обозначение вида покрытия, толщину покрытия. Толщина шайбы указывается только в том случае, если стандартом на данный вид шайбы такой толщины не предусмотрено. Марка материала указывается только в том случае, если шайба изготовлена из материала не соответствующего техническим требованиям, установленным ГОСТ 18123 - 82. При отсутствии покрытия не указываются его условные обозначения и толщина. Примеры условных обозначений шайб приведены в таблице 4.

Таблица 3

Изображение и обозначение гаек

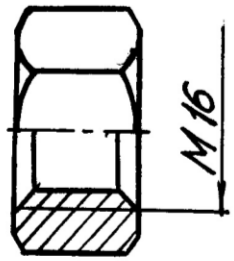
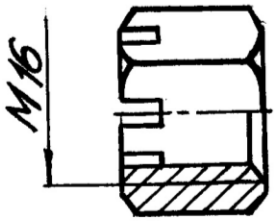
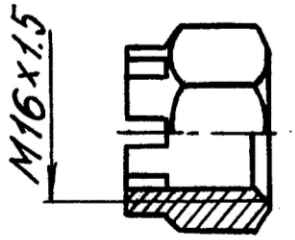
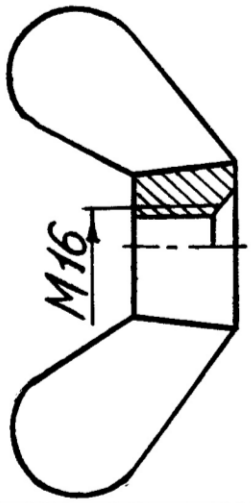
Изображение	Условные обозначения	Расшифровка обозначения
	**Гайка М16-6Н.5 ГОСТ 5915-70**	**Гайка исполнения 1, с диаметром резьбы d=16 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6Н, класса прочности 5, без покрытия.**
	**Гайка М16-6Н.5 ГОСТ 5918-73**	**Гайка класса точности В, исполнения 1, с диаметром резьбы d=16 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6Н, класса точности 5, без покрытия.**
	**Гайка 2 М16×1,5-6Н.5.019 ГОСТ 5918-73**	**Гайка класса точности В, исполнения 2, с диаметром резьбы d=16 мм, с мелким шагом резьбы с полем допуска 6Н, класса точности 5, с покрытием 01 толщиной 9 мкм.**
	**Гайка М16-6Н.6 ГОСТ 3032-76**	**Гайка - барашек с диаметром резьбы d=16 мм, с крупным шагом резьбы с полем допуска 6Н, класса прочности 6, без покрытия.**

Таблица 4

Изображения и обозначения шайб

Изображение	Условные обозначения	Расшифровка обозначения
	Шайба 2.12 ГОСТ 11371-78	Шайба круглая исполнения 2 для крепежной детали диаметром 12 мм из материала , соответствующего техническим условиям, без покрытия
	Шайба 10 65 Г ГОСТ 6402-70	Шайба пружинная исполнения 1 для крепежной детали диаметром 10 мм из стали 65 Г, без покрытия

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

На сборочных чертежах и чертежах общего вида применяются упрощенные и условные изображения крепежных деталей. Эти изображения установлены ГОСТ 2.315 - 68; их применение в значительной мере сокращают затраты труда конструктора. Крепежные детали, у которых диаметр стержня на чертеже менее 2 мм, изображают условно. В остальных случаях следует применять упрощенные изображения. Пример упрощенного изображения соединения деталей болтом с шестигранной головкой приведен на рис. 1.

При выполнении упрощенного изображения болтового соединения применяются следующие упрощения:

- фаски, проточки, галтели не показываются;
- резьба изображается выполненной по всей длине цилиндрической части болта;
- на виде сверху внутренний диаметр резьбы не показывается;
- зазоры между соединяемыми деталями и стержнем болта не показываются;

- изображения крепежных деталей выполняются по относительным размерам.

Если в соединении применен болт с шестигранной головкой, то размеры изображения деталей определяем по формулам, приведенным на рис.3. Приведенные формулы не установлены стандартом и рекомендованы на основе длительного опыта конструкторских и чертежных работ.

Основными параметрами, в зависимости от которых определяются относительные размеры изображения, являются размеры резьбы болта и толщина соединяемых деталей. Длину болта определяем по формуле, приведенной на рис. 3. Полученное значение необходимо сравнить со стандартной величиной длины болта. Как правило, они не совпадают, в этом случае выбираем ближайшее стандартное значение.

Относительные размеры конструктивных элементов болтов с различными формами головки приведены на рис. 4 и на рис. 5.

На чертеже необходимо проставить следующие размеры:

- условное обозначение резьбы болта;
- длину болта;
- размер под ключ гайки.

Длина болта и размер под ключ определяются по таблице соответствующего стандарта. Для определения размеров изображений болтов других конструкций пользуемся рис. 4 и рис. 5.

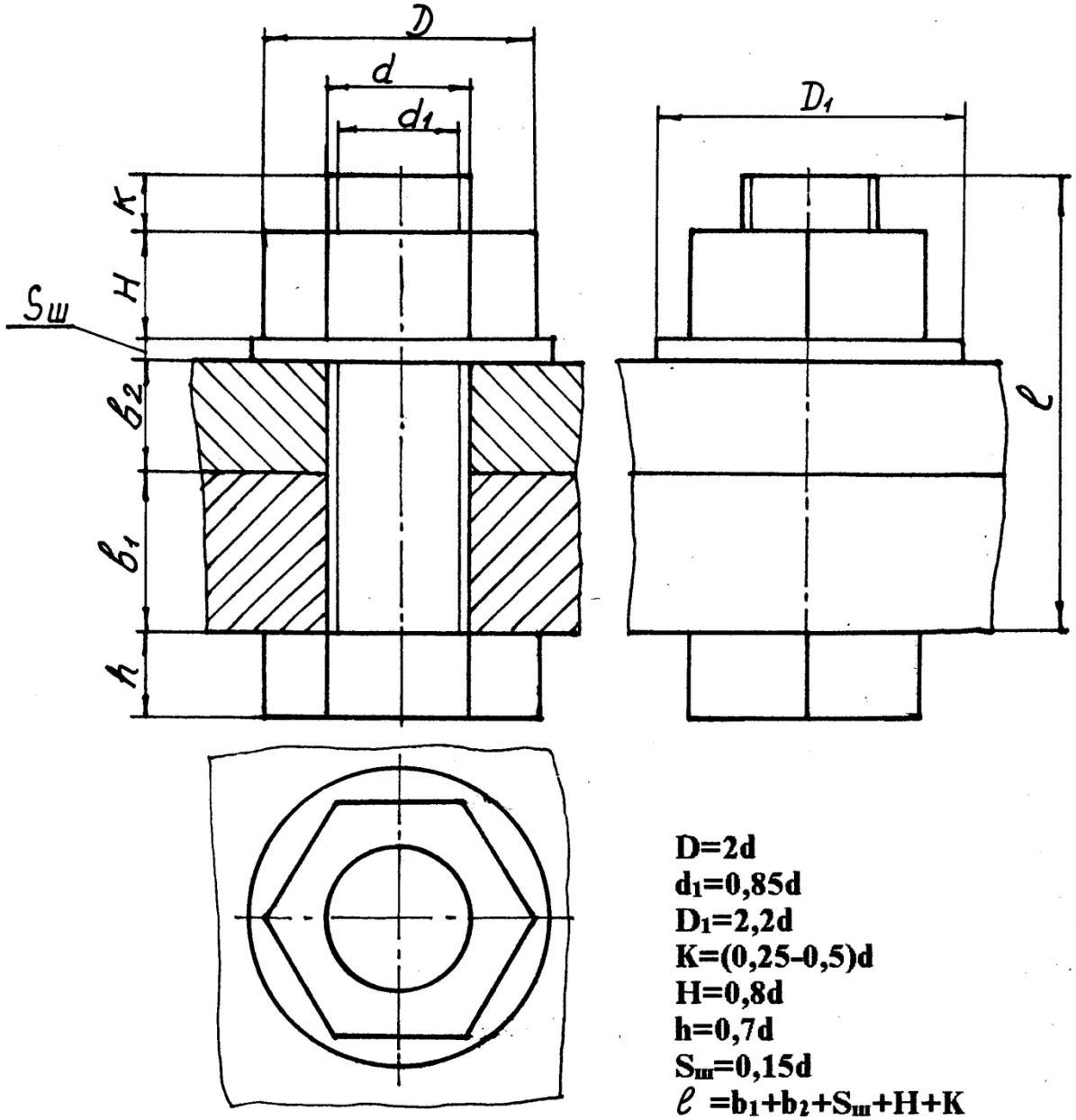


Рис. 3. Определение размеров упрощенного изображения болтового соединения

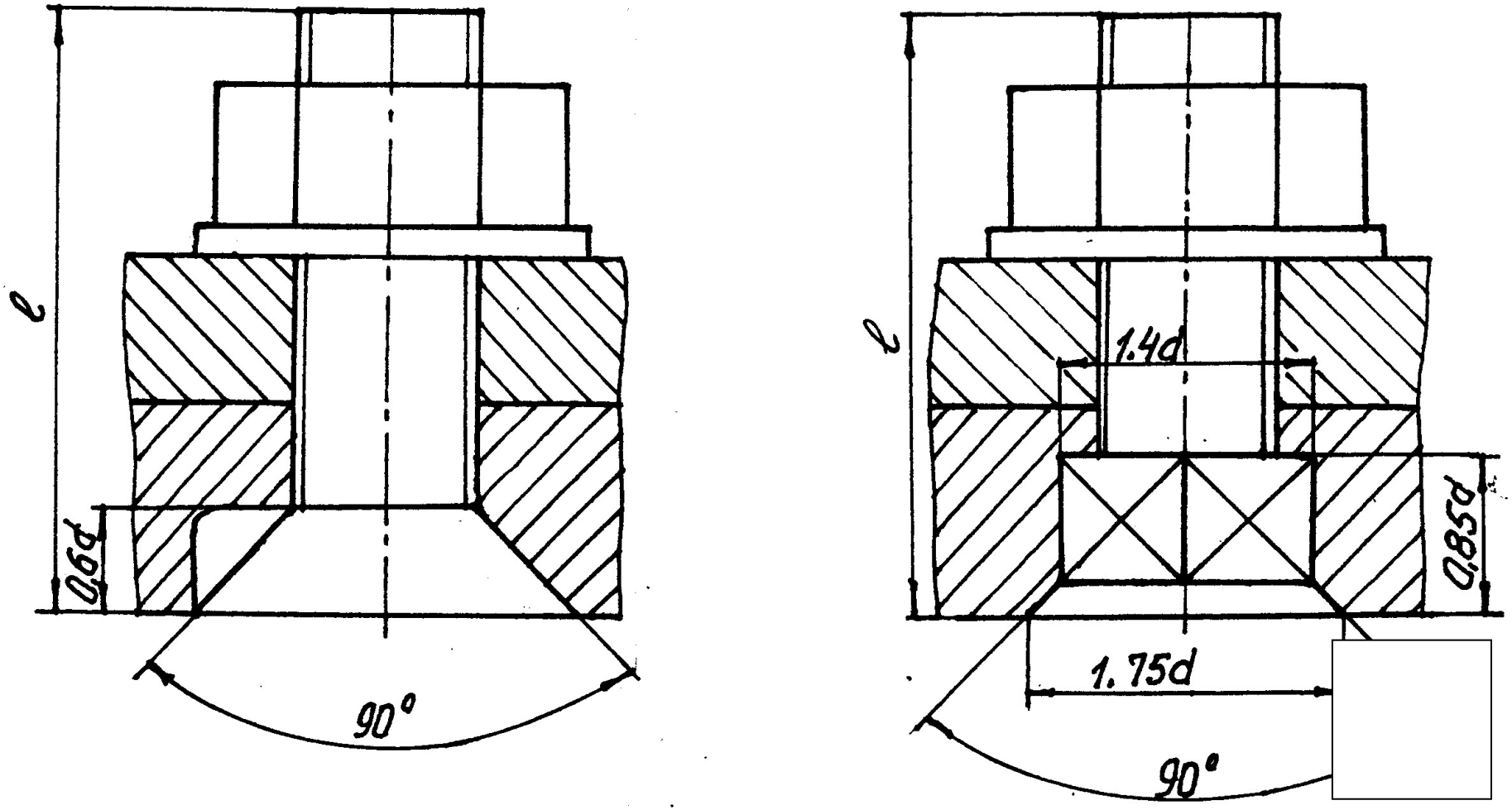


Рис. 4. Определение размеров упрощенного изображения болтового соединения

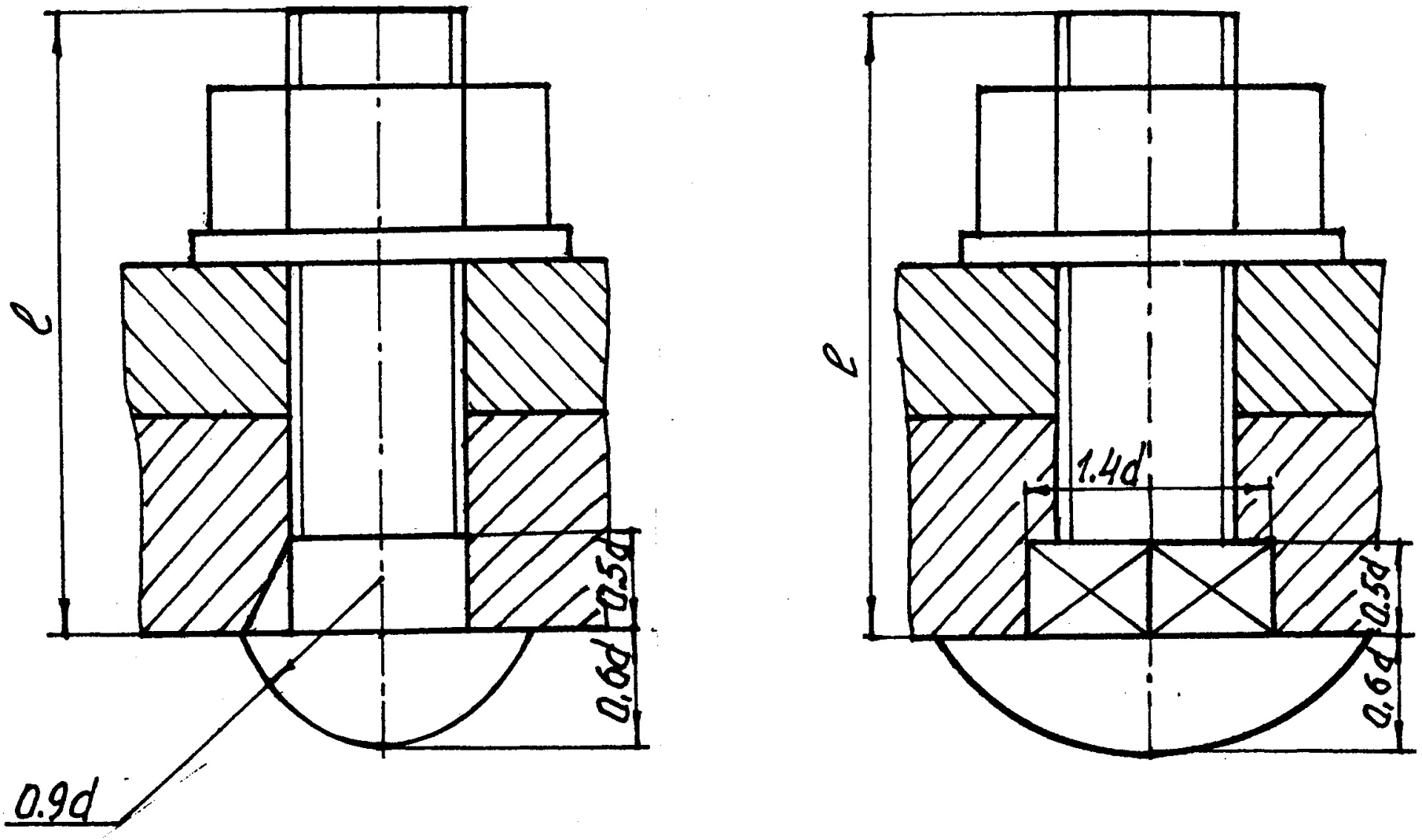


Рис. 5. Определение размеров упрощенного изображения болтового соединения

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. т. 1. - 9 -е изд., перераб. и доп/ под ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.: ил.

Чекмарев А. А., Осипов В. К. Справочник по машиностроительному черчению: учебное пособие. – М.: Высшая школа , 2008. – 493 с.

Федоренко В. А., Шошин А. И. Справочник по машиностроительному черчению. – Изд. Альянс, 16-е изд., переработанное, 2007. – 416 с.

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВПО

«Уральский государственный горный университет»

В. Н. Бабич, А. П. Фролов

НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

ЭПЮР № 2

Учебно-методическое пособие
по выполнению индивидуальной графической работы

для студентов всех специальностей

3-е издание, переработанное

ЕКАТЕРИНБУРГ

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ 6

2. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ 6

3. ПОСТРОЕНИЕ ИСХОДНОГО ЧЕРТЕЖА 6

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПЮРА №2 8

4. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКЦИЙ СЕЧЕНИЯ ПИРАМИДЫ ПЛОСКОСТЬЮ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ СЕЧЕНИЯ 12

5. ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПИРАМИДЫ 14

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 16

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебно – методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам при выполнении самостоятельной графической работы «Эпюр № 2» курса «Начертательная геометрия. Инженерная графика».

Работа содержит 50 вариантов индивидуальных заданий, а также методические указания по решению эпюра.

При выполнении данного эпюра студент закрепляет знания, полученные на лекциях и практических занятиях по теме «Преобразование проекций». В частности, основной задачей эпюра является определение сечения поверхности многогранника плоскостью общего положения. Эта задача решается с помощью способа замены плоскостей проекций.

Кроме того, при решении эпюра применяется способ плоскопараллельного перемещения. Этим способом определяется натуральная величина сечения. Важным элементом эпюра является задача на построение развертки поверхности многогранника. В данной разработке рекомендовано решать эту задачу путем определения натуральных величин ребер многогранника методом прямоугольного треугольника, однако, в зависимости от конкретных исходных данных возможно применение других методов.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Работа выполняется в масштабе I:I на формате *A2* в карандаше. В случае необходимости, развертку поверхности многогранника допускается выполнять в масштабе 1:2, сопровождая ее соответствующей надписью. Проекции сечения поверхности многогранника плоскостью, а также линия сечения на развертке выполняются цветным карандашом. Оформление работы выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД; основная надпись по форме 1.

2. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

Дана пирамида *SABCD*. Основание пирамиды *ABCD* представляет собой ромб, сторона которого равна *a*; диагональ ромба параллельная плоскость *V* равна *d*; диагонали ромба пересекаются в точке *O*. Основание пирамиды принадлежит фронтально-проецирующей плоскости, которая наклонена к плоскости *H* под углом φ; P_x – точка схода следов плоскости *P* определяется координатой X_p. Исходные данные по заданию приведены в таблице. Секущая плоскость α задается преподавателем индивидуально.

Необходимо построить три проекции сечения поверхности пирамиды плоскостью α; определить натуральную величину сечения; построить развертку поверхности пирамиды с нанесением линии сечения.

3. ПОСТРОЕНИЕ ИСХОДНОГО ЧЕРТЕЖА

Для построения исходного чертежа (рис. 3.1) необходимо выбрать начало координат. Для того чтобы изображения располагались равномерно, рекомендуется выбрать начало координат *O* в центре листа. Зная координату X_p и угол φ, строим следы плоскости *P*. Поскольку точка *O* принадлежит плоскости *P*, ее фронтальная проекция должна лежать на P_V, на удалении, равном Z_o от оси *X*.

Горизонтальную проекцию точки *O* построим, проводя вертикальную линию связи и отложив по ней Y_o.

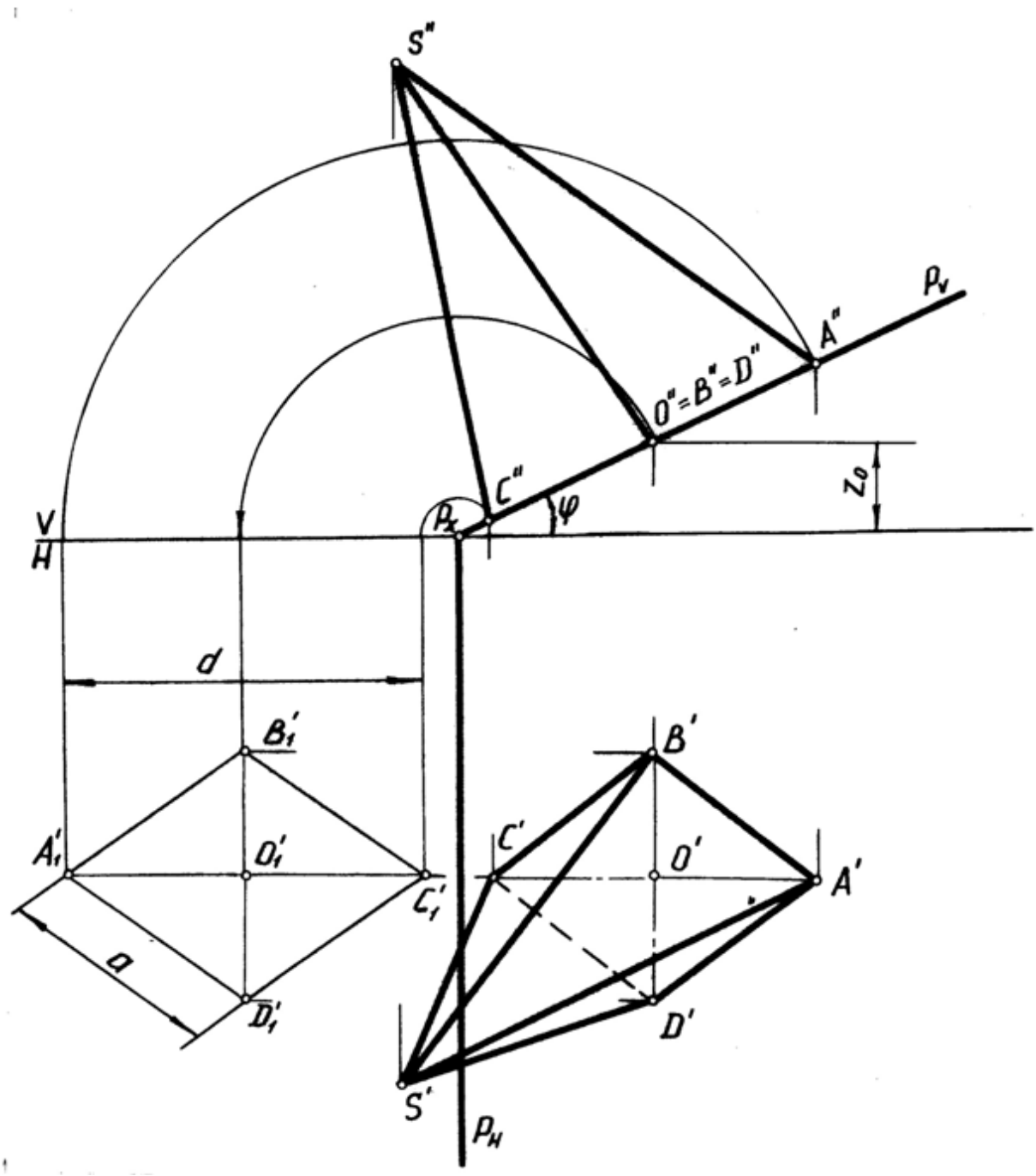


Рис. 3.1. Исходный чертеж

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПЮРА №2

Таблица

Номер вар.	x_p	φ°	y_0	z_0	a	d	x_S	y_S	z_S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	150	30	40	25	50	80	155	150	120
2	150	30	45	25	50	80	155	150	120
3	150	30	50	25	50	80	155	150	120
4	150	30	55	25	50	80	155	130	120
5	150	30	60	25	50	80	155	150	120
6	150	30	65	25	50	80	155	150	120
7	150	30	70	25	50	80	155	150	120
8	150	30	75	25	50	80	155	140	120
9	150	30	80	25	50	80	155	150	120
10	150	30	85	25	50	80	155	150	120
11	150	30	90	25	50	80	155	150	120
12	150	30	95	25	50	80	155	150	120
13	150	30	100	25	50	80	155	150	120
14	160	30	100	25	50	80	155	150	120
15	160	30	95	25	50	80	155	150	120
16	160	30	90	25	50	80	155	150	120
17	160	30	85	25	50	80	155	150	120
18	160	30	80	25	50	80	155	150	120
19	160	30	75	25	50	80	155	150	120
20	160	30	70	25	50	80	155	150	120
21	160	30	65	25	50	80	155	150	120
22	160	30	60	25	50	80	155	150	120
23	160	30	55	25	50	80	155	150	120

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	160	30	50	25	50	80	155	150	120
25	160	30	45	25	50	80	155	150	120
26	160	30	40	30	50	80	155	150	120
27	150	30	40	30	50	90	145	150	120
28	150	30	45	30	50	90	145	150	120
29	150	30	50	30	50	90	145	150	120
30	150	30	55	30	50	90	145	150	120
31	150	30	60	30	50	90	145	150	120
32	150	30	65	30	50	90	145	150	120
33	150	30	70	30	50	90	145	150	120
34	150	30	75	30	50	90	145	150	120
35	150	30	80	30	50	90	145	150	120
36	150	30	85	30	50	90	145	150	120
37	150	30	90	30	50	90	145	150	120
38	150	30	95	30	50	90	145	150	120
39	150	30	100	30	50	90	145	150	120
40	160	30	100	30	50	90	145	150	120
41	160	30	95	30	50	90	145	150	120
42	160	30	90	30	50	90	145	150	120
43	160	30	85	30	50	90	145	150	120
44	160	30	80	30	50	90	145	150	120
45	160	30	75	30	50	90	145	150	120
46	160	30	70	30	50	90	145	150	120
47	160	30	65	30	50	90	145	150	120
48	160	30	60	30	50	90	145	150	120
49	160	30	55	30	50	90	145	150	120
50	160	30	50	30	50	90	145	150	120

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
51	150	30	40	25	50	50	80	150	120
52	150	30	45	25	50	50	80	150	120
53	150	30	50	25	50	50	80	150	120
54	150	30	55	25	50	50	80	130	120
55	150	30	60	25	50	50	80	150	120
56	150	30	65	25	50	50	80	150	120
57	150	30	70	25	50	50	80	150	120
58	150	30	75	25	50	50	80	140	120
59	150	30	80	25	50	50	80	150	120
60	150	30	85	25	50	50	80	150	120
61	150	30	90	25	50	50	80	150	120
62	150	30	95	25	50	50	80	150	120
63	150	30	100	25	50	50	80	150	120
64	160	30	100	25	50	50	80	150	120
65	160	30	95	25	50	50	80	150	120
66	160	30	90	25	50	50	80	150	120
67	160	30	85	25	50	50	80	150	120
68	160	30	80	25	50	50	80	150	120
69	160	30	75	25	50	50	80	150	120
70	160	30	70	25	50	50	80	150	120
71	160	30	65	25	50	50	80	150	120
72	160	30	60	25	50	50	80	150	120
73	160	30	55	25	50	50	80	150	120

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
74	160	30	50	25	50	80	155	150	120
75	160	30	45	25	50	80	155	150	120
76	160	30	40	30	50	80	155	150	120
77	150	30	40	30	50	90	145	150	120
78	150	30	45	30	50	90	145	150	120
79	150	30	50	30	50	90	145	150	120
80	150	30	55	30	50	90	145	150	120
81	150	30	60	30	50	90	145	150	120
82	150	30	65	30	50	90	145	150	120
83	150	30	70	30	50	90	145	150	120
84	150	30	75	30	50	90	145	150	120
85	150	30	80	30	50	90	145	150	120
86	150	30	85	30	50	90	145	150	120
87	150	30	90	30	50	90	145	150	120
88	150	30	95	30	50	90	145	150	120
89	150	30	100	30	50	90	145	150	120
90	160	30	100	30	50	90	145	150	120
91	160	30	95	30	50	90	145	150	120
92	160	30	90	30	50	90	145	150	120
93	160	30	85	30	50	90	145	150	120
94	160	30	80	30	50	90	145	150	120
995	160	30	75	30	50	90	145	150	120
96	160	30	70	30	50	90	145	150	120
97	160	30	65	30	50	90	145	150	120
98	160	30	60	30	50	90	145	150	120
99	160	30	55	30	50	90	145	150	120
100	160	30	50	30	50	90	145	150	120

Для построения проекций основания пирамиды воспользуемся способом совмещения (см. рис. 3.1). Поскольку плоскость P занимает фронтально-проецирующее положение, то при ее совмещении с плоскостью H фронтальный след P_V совместится с осью X, и поэтому O_1'' (новая фронтальная проекция точки O) будет лежать на оси X. O_1' - новая горизонтальная проекция точки O построена в пересечении вертикальной линии связи траектории перемещения O', которая перпендикулярна P_H. Таким образом, плоскость P совмещена с плоскостью H, и, следовательно, новая горизонтальная проекция основания пирамиды будет равна его натуральной величине. Зная величину стороны a и одной диагонали основания d, строим его новую горизонтальную проекцию $A_1'B_1'C_1'D_1'$. Выполнив обратные преобразования, т. е. повернув плоскость P в исходное положение, построим фронтальную и горизонтальную проекции основания $ABCD$. Проекции вершины пирамиды S строим по известным координатам (таблица). Таким образом, построен исходный чертеж задания.

4. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКЦИЙ СЕЧЕНИЯ ПИРАМИДЫ ПЛОСКОСТЬЮ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ СЕЧЕНИЯ

Секущая плоскость α задается преподавателем каждому студенту индивидуально.

На рис. 4.1 эта плоскость задана прямой ℓ и точкой К.

Для определения сечения, в данном случае, удобно воспользоваться заменой плоскостей проекций. Замена должна производиться таким образом, чтобы плоскость α стала проецирующей по отношению к новой плоскости проекций V_1. Для этого необходимо задать горизонталь плоскости α. В данном случае горизонталь представляет собой отрезок КМ. Фронтальная проекция К″М″ горизонтали параллельна оси Х. Горизонтальная проекция К′М′ строится с помощью линий связи.

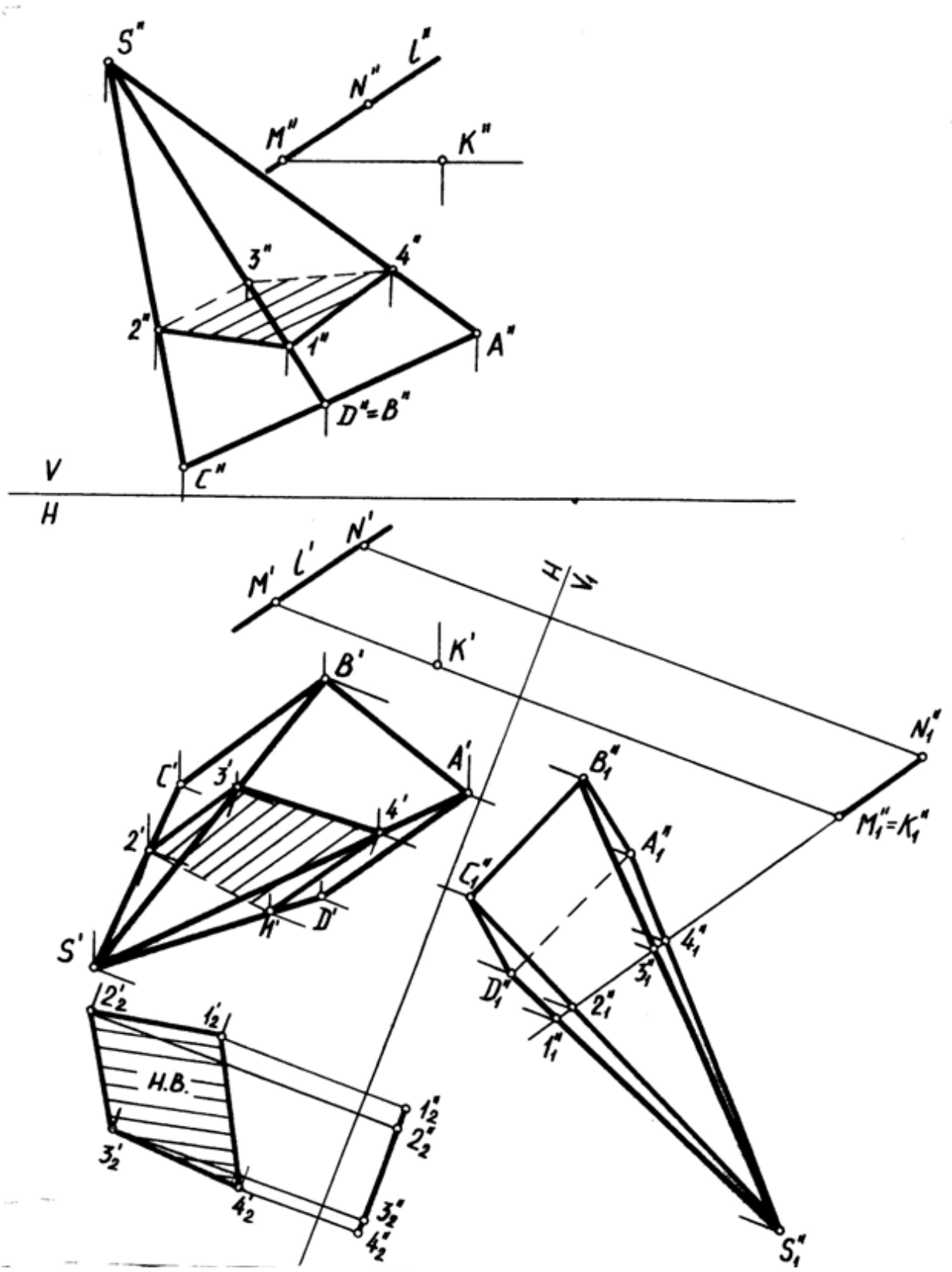


Рис. 4.1. Построение проекций сечения пирамиды плоскостью

Новую ось выбираем перпендикулярно К′М′. Проведя линии связи и отложив на них координаты Z точек К и М, получим новую проекцию горизонтали на плоскость V_1, которая представляет собой точку $M_1''=K_1''$. Для построения новой проекции плоскости α зададим произвольно точку N, принадлежащую плоскости α. Отложив координату Z на соответствующей линии связи, получим N_1''. Соединив N_1'' и $M_1''=K_1''$, получим новую проекцию плоскости α, которая является также новым следом плоскости и обозначается α_{v1}.

Для построения проекции пирамиды на плоскость V_1 проведем линии связи из горизонтальных проекций ее вершин перпендикулярно оси α_1 и отложим координаты Z вершин пирамиды, на них определяем A_1'',B_1'',C_1'',D_1'' и S_1''. Новая проекция α_{v1} , пересекая проекции ребер пирамиды, даст проекции точек сечения $1_1''$,$2_1''$,$3_1''$ и $4_1''$. Горизонтальные и фронтальные проекции этих точек построим с помощью линий связи.

Для определения натуральной величины сечения пирамиды плоскостью α выполним еще одно преобразование чертежа. В данном случае применим метод плоскопараллельного перемещения: проекцию сечения $1_1''2_1''3_1''4_1''$ перемещаем таким образом, чтобы она стала параллельной оси X_1; получена новая проекция $1_2''2_2''3_2''4_2''$; проведя линии связи из точек этой проекции и траектории перемещения горизонтальных проекций точек сечения, получим проекцию $1_2'2_2'3_2'4_2'$, которая равна натуральной величине сечения пирамиды плоскостью α.

5. ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПИРАМИДЫ

Для построения развертки поверхности пирамиды необходимо определить натуральные величины всех ребер пирамиды. Натуральные величины ребер основания пирамиды известны и равны величине *a* (см. рис. 3.1). Для определения натуральных величин остальных ребер применим способ прямоугольного треугольника (см. рис. 5.1). Определим натуральную величину ребра *SA*. Для этого построим прямоугольный треугольник, одним катетом которого яв-

ляется $S''A''$, а вторым катетом - разность координат Y точек A и S (ΔY). Гипотенуза полученного треугольника равна н. в. ребра AS. Определив н. в. ребра BS аналогично и зная, что $|AD|=a$, строим натуральную величину грани развертки пирамиды $S_0A_0D_0$. Натуральные величины остальных боковых ребер определим также с помощью способа прямоугольного треугольника. К первой грани развертки $S_0A_0D_0$ последовательно пристраиваем остальные боковые грани и основание. Для построения линии сечения на развертке необходимо определить натуральные величины отрезков боковых ребер $A4$, $B3$, $C2$, $D1$. Эти величины удобно в данном случае определить, основываясь на теореме о пропорциональном делении отрезка. Действительно,

$$\frac{S''A''}{4''A''} = \frac{S''A_1''}{4_1''A_1''}, \qquad 4_1''A'' = |A4|.$$

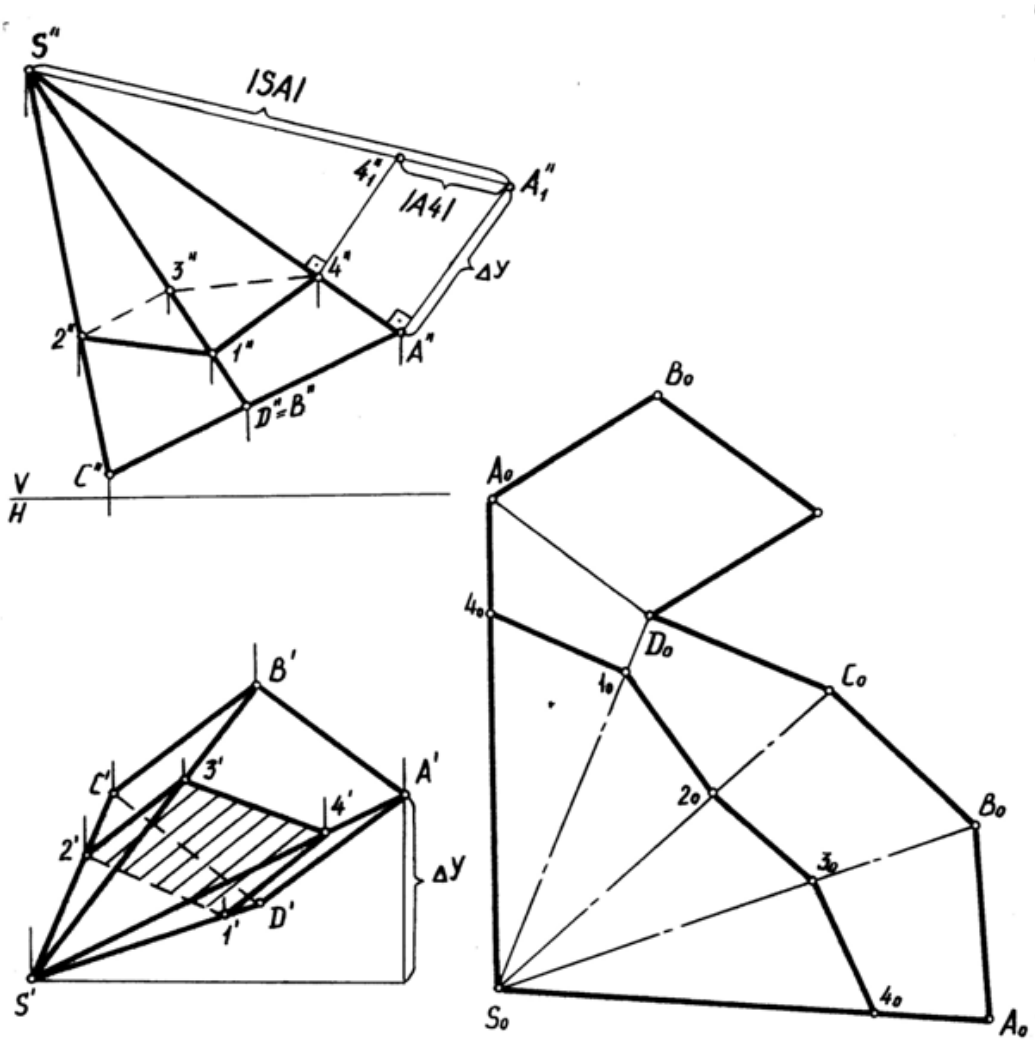


Рис. 5.1. Построение развертки поверхности пирамиды

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Гордон В. О., *Семенцов-Огиевский М. А*. Курс начертательной геометрии: учебное пособие для втузов – М.: Наука, 2007. 271 с.

Фролов С. А. Начертательная геометрия: учебник. С. А. Фролов. – 3 изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА – М, 2008. 281с.

Дополнительная литература:

Дровосеков А. И. Методические указания по выполнению домашней графической работы «Эпюр № 2» для студентов горных и горно-механических специальностей. – Свердловск: Издание СГИ, 1985. 39 с.

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Н. Б. Сиразутдинова

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ «ЭПЮР № 1»

по курсу «Начертательная геометрия»

для студентов всех специальностей

Екатеринбург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ 5
2. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЭПЮРА 5
3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПЮРА 7
4. ПРИЛОЖЕНИЕ 1 15
5. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 16

ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие «Эпюр № 1выполнено на основе учебного пособия А. И. Образцова, изданного в 1953 году.

Данное пособие предназначено для оказания помощи студентам при выполнении графической работы «Эпюр №1» по курсу «Начертательная геометрия».

Цель работы - научиться строить линию пересечения заданных плоских фигур, определять видимость этих фигур на проекциях.

Графическая работа «Эпюр №1» является первым самостоятельным заданием студента по дисциплине «Начертательная геометрия». Для выполнения этой работы студент должен изучить следующие разделы начертательной геометрии: «Точка и прямая», «Плоскость», «Взаимное положение прямой и плоскости», «Взаимное положение двух плоскостей».

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Графическая работа «Эпюр №1» выполняется в масштабе 1:1 на формате А3 (297×420 мм). В правом нижнем углу формата А3 студент выполняет основную надпись – форма 1 по ГОСТ 2.104-68. Пример заполнения основной надписи приведен в Приложении I. В левом верхнем углу формата выполняется дополнительная графа 26 (14×70 мм). Пример выполнения графической работы дан в Приложении I.

В соответствии с ГОСТ 2.303-68 задание выполняется следующими типами линий:

- линии видимого контура толщиной S, равной 0,6÷0,8 мм;
- линии построения – сплошные тонкие, толщиной от $\frac{S}{3}$ до $\frac{S}{2}$;
- линии невидимого контура – штриховые, толщиной от $\frac{S}{3}$ до $\frac{S}{2}$;
- следы вспомогательных плоскостей-посредников изображаются разомкнутыми линиями, длиной 8-10 мм, толщиной от 1,5 *S* до 2*S*.

2. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЭПЮРА

Вариант задания включает в себя три различные геометрические плоские фигуры:

- фигура № 1 задана координатами трех точек, фигура № 2 (многоугольник) полностью задана координатами трех точек и оставшимися точками, у которых одна из координат заменяется условием их принадлежности к плоской фигуре № 2;

- фигура № 3 занимает проецирующее положение (фронтально-проецирующее или горизонтально-проецирующее) и задается очерком в виде кольца, серпа, круга или его части.

Выполнение эпюра состоит из графического решения нескольких задач:

1) достроить недостающую проекцию многоугольника;
2) построить проекции линии пересечения треугольника *ABC* и многоугольника;
3) построить проекции линии пересечения: треугольника с плоскостью частного положения; многоугольника с плоскостью частного положения;
4) определить видимость элементов фигур на чертеже, считая фигуры непрозрачными.

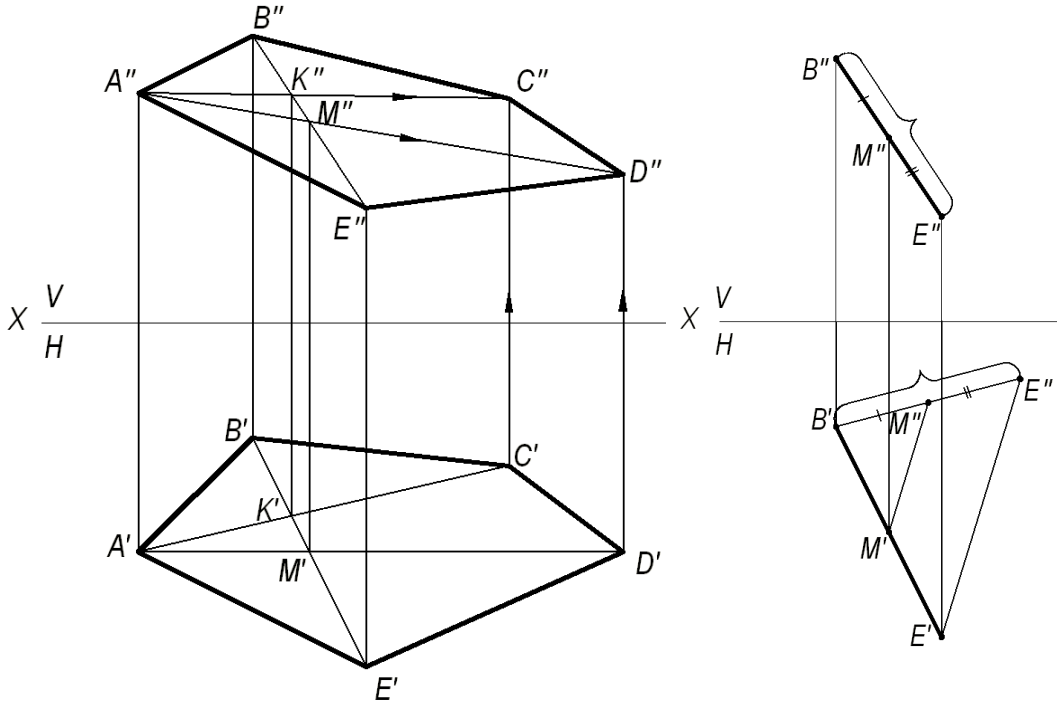
Исходные данные заданы численными значениями координат и сведены в таблицу.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭПЮРА

Для выполнения графической работы студенту необходимо решить ряд задач.

Задача 1. Построение исходного чертежа многоугольника (рис. 1).

Горизонтальная проекция многоугольника *ABCDE* задана полностью, а фронтальная проекция только тремя проекциями точек *A″B″E″*. Необходимо достроить фронтальную проекцию точек *C* , *D*. При построении недостающей проекции заданного многоугольника необходимо соблюдать условие принадлежности точек данной фигуры к плоскости. Чтобы точки *C*, *D* лежали в плоскости, определенной тремя точками *A*, *B* и *E*, необходимо, чтобы они находились на прямых, лежащих в этой плоскости. Этими прямыми являются диагонали *AC*, *AD* и *BE*, горизонтальные проекции которых можно построить (рис. 1*а*).



а) *б*)

Рис. 1. Построение исходного чертежа многоугольника:

а- построение недостающих проекций вершин многоугольника; *б*- пропорциональное деление отрезка *BE*

На фронтальной проекции пятиугольника проводят проекцию диагонали *B″E″*. В плоскости пятиугольника лежат точки пересечения диагоналей *K* и *M*, горизонтальные проекции которых *K′* и *M′* имеются, а фронтальные проекции получаются в результате пересечения линий проекционной связи, проведенных из *K′* и *M′*, с диагональю *B″E″*. По двум точкам строятся фронтальные проекции других двух диагоналей *A″K″* и *A″M″*, на них должны лежать проекции точек *C″* и *D″*, которые определяются по их горизонтальным проекциям.

В случае, если линия совпадает по направлению с линией проекционной связи или круто наклонена к оси проекций, то недостающая проекция точки строится из условия пропорционального деления отрезка: если точка делит отрезок на пропорциональные части, то проекция этой точки делит проекции этого отрезка в том же отношении. На рис. 1*б* нужно построить горизонтальную проекцию точки *M′*. Из проекции точки *B′* проводят линию под углом меньше 90° к *B′E′* и на ней от проекции точки *B′* откладывают отрезки равные *B″M″* и *B″E″*. Соединяют *E′* и *E″* и параллельно этому направлению проводят от M″ линию до пересечения с *B′E′*. Получают искомую горизонтальную проекцию *M′*.

Задача 2. Построить точку пересечения прямой *MN* с плоскостью треугольника *AB*C.

Если прямая линия не параллельна плоскости, то она пересекает эту плоскость в действительной точке (см. рис. 2).

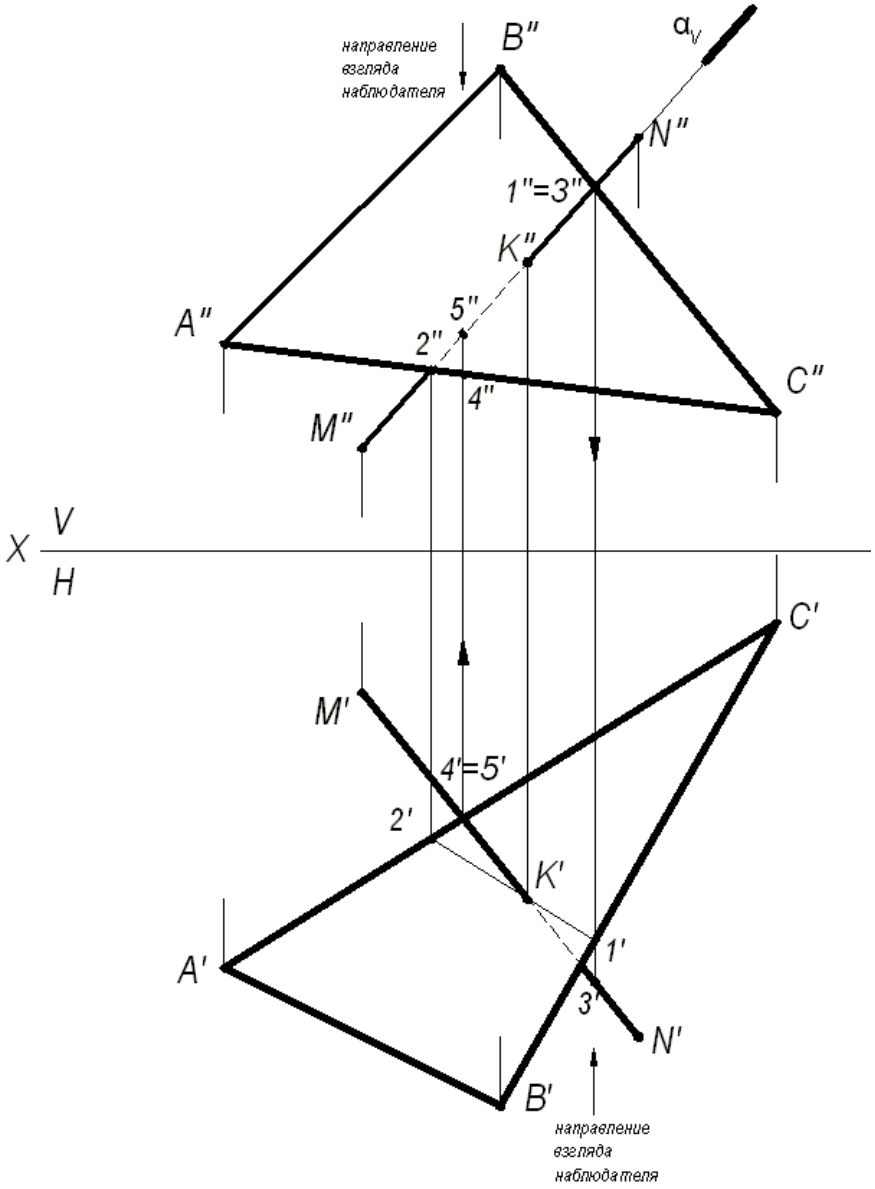


Рис. 2. Построение точки пересечения прямой с плоскостью

Алгоритм решения задачи:

1) Через заданную прямую *MN* проводим вспомогательную плоскость-посредник α, перпендикулярную фронтальной плоскости проекций. Следовательно, на фронтальной плоскости проекций *V* все точки плоскости-посредника α будут проецироваться в прямую линию, совпадающую с фронтальной проекцией прямой *M″N″*.

2) Находим линию пересечения вспомогательной плоскости-посредника α с заданной плоскостью треугольника *ABC*. На чертеже линия (1,2).

3) Находим искомую точку пересечения *K* прямой *MN* с плоскостью треугольника *ABC*. Она определяется как пересечение искомой прямой с найденной линией пересечения вспомогательной плоскости-посредника с плоскостью треугольника *ABC*.

Определение видимости на чертеже.

В начертательной геометрии плоскости считаются непрозрачными, поэтому необходимо на проекциях определить видимость.

Для определения видимости на чертеже используем метод конкурирующих точек, сущность которого заключается в выборе двух скрещивающихся прямых.

Для определения видимости на фронтальной плоскости проекций *V* поступают так. Выбираем две скрещивающиеся прямые *B″C″* и *M″N″*, фронтальные проекции которых пересекаются в точках 1 и 3. По горизонтальной проекции определяем, что проекция точки 3′, лежащая на проекции прямой *M′N′*, будет закрывать проекцию точки 1′, лежащую на проекции прямой *B′C′*, т. к она будет ближе к наблюдателю. На чертеже направление взгляда наблюдателя показано стрелкой. Следовательно, на фронтальной плоскости проекций проекция *M″N″* будет закрывать проекцию *B″C″*. Границей видимости является проекция точки пересечения К″.

Для определения видимости на горизонтальной плоскости проекций *H* выбираем две скрещивающиеся прямые *A′C′* и *M′N′*, горизонтальные проекции которых пересекаются в точках 4′ и 5′. По фронтальной проекции определяем, что проекция точки 5″, лежащая на проекции прямой *M″N″*, будет закрывать проекцию точки 4″, лежащую на проекции прямой *A″C″*, т. к. она будет ближе к наблюдателю. На чертеже направление взгляда наблюдателя показано стрелкой. Следовательно, на горизонтальной плоскости проекций проекция *M′N′* будет закрывать проекцию *A′C′*. Границей видимости является проекция точки пересечения *K′*.

Задача 3. Построение линии пересечения двух плоскостей, одна из которых занимает частное положение.

Даны две плоскости: плоскость Δ*ABC* – плоскость общего положения, плоскость Δ*DEK* – плоскость частного положения, которая расположена перпендикулярно фронтальной плоскости проекций (рис. 3).

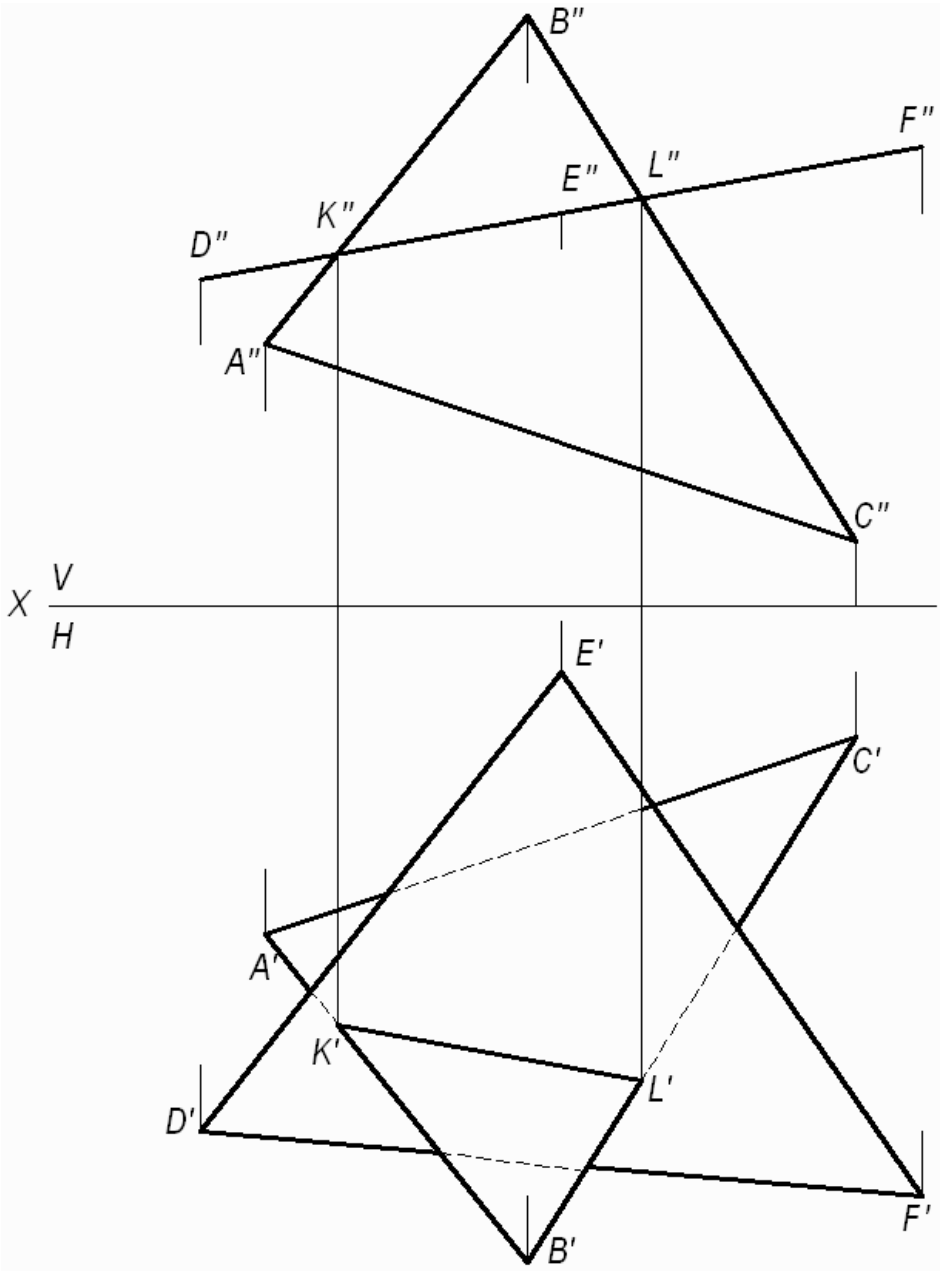


Рис. 3. Построение линии пересечения двух плоскостей, одна из которых занимает частное положение

Фронтальная проекция Δ*DEK* совпадает с фронтальным следом плоскости и фронтальной проекцией линии пересечения треугольников.

(*KL*) - линия пересечения двух треугольников. Проекции этой линии пересечения – фронтальную и горизонтальную строят исходя из свойства принадлежности точек *K* и *L* сторонам (*AB*) и (*BC)*, соответственно. Видимость треугольников на горизонтальной плоскости проекций определяем методом конкурирующих точек, рассмотренном в задаче 2.

Задача 4. Построение линии пересечения двух плоскостей общего положения.

Даны две плоскости общего положения, заданные треугольниками *ABC* и *DEK*. Построить линию пересечения двух треугольников, определить видимость треугольников на проекциях.

Прямая линия, получаемая при взаимном пересечении двух плоскостей, определяется двумя точками, каждая из которых одновременно принадлежит обеим плоскостям. Общие точки определяются решением основной позиционной задачи начертательной геометрии – построение точки пересечения прямой с плоскостью (см. рис. 2).

Для решения данной задачи проводят вспомогательные плоскости-посредники частного положения (проецирующие плоскости). Решение задачи приведено на рис. 4.

Алгоритм решения задачи:

1. Определяют первую точку линии пересечения двух треугольников – точку *M*.

1.1. Фронтально-проецирующая плоскость α проведена через сторону *DK* и задана на чертеже фронтальным следом α_V.

1.2. Плоскость α пересекает плоскость треугольника *ABC* по прямой (1,2), на чертеже строят две проекции этой прямой.

1.3. Прямая (1,2) пересекает сторону *DK* в точке *M*, строят две проекции точки M'' и M'.

2. Определяют вторую точку искомой линии пересечения двух треугольников – точку *N*.

2.1. Горизонтально-проецирующая плоскость β проведена через сторону *AB* и задана на чертеже горизонтальным следом β_H.

2.2. Плоскость β пересекает плоскость треугольника *DEK* по прямой (3,4), на чертеже строят две проекции этой прямой.

2.3. Прямая (3,4) пересекает *AB* в точке *N*, строят две проекции точки N'' и N'.

Плоскости треугольников *ABC* и *DEK* пересекаются по прямой *MN*.

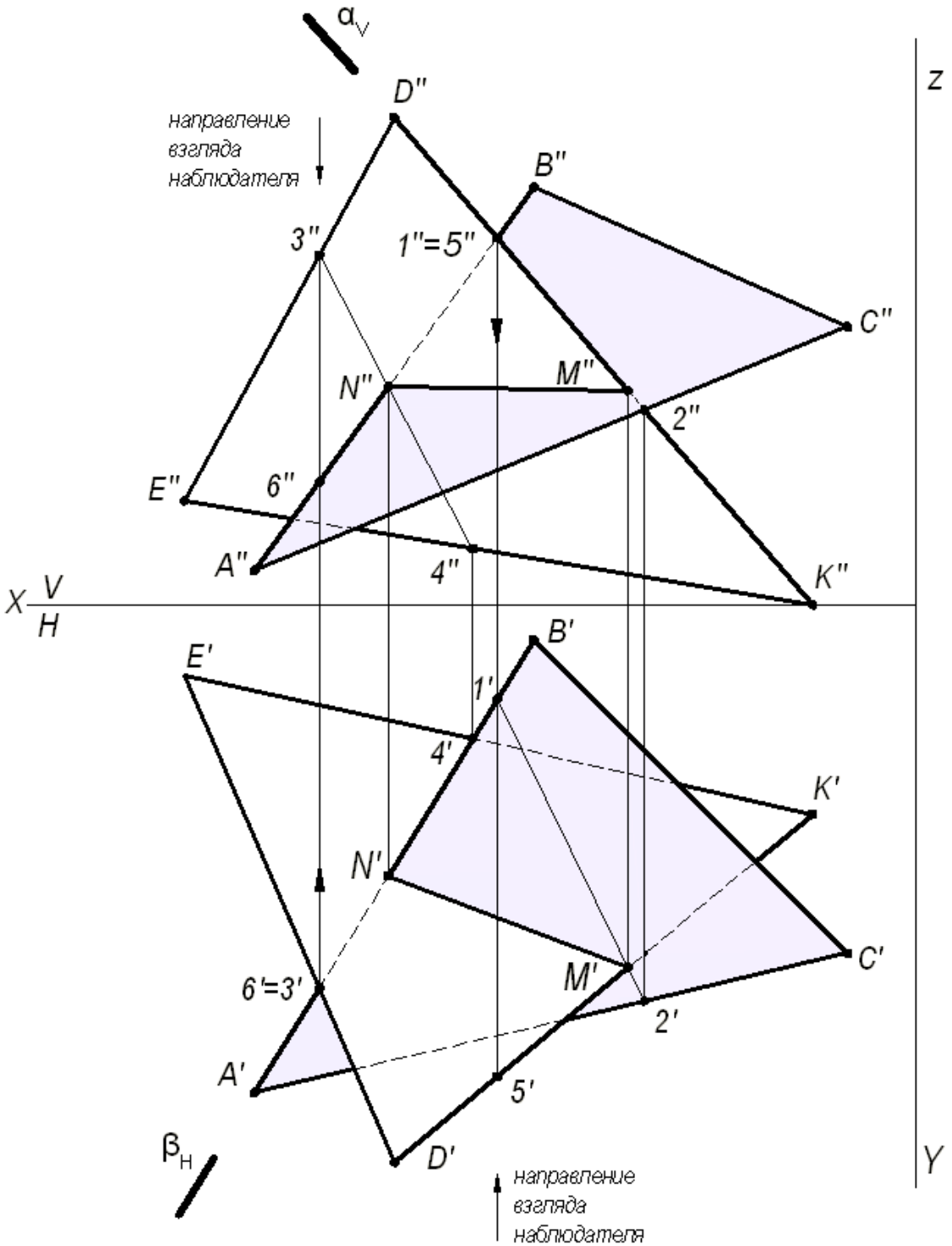


Рис. 4. Построение линии пересечения двух треугольников

3. Видимость плоских фигур на проекциях определяют методом конкурирующих точек.

Для определения видимости на фронтальной плоскости проекций *V* выбираем две скрещивающиеся прямые *D″K″* и *A″B″*, фронтальные проекции которых пересекаются в точках 1″ и 5″. По горизонтальной проекции определяем, что проекция точки 5′, лежащая на проекции прямой *D′K′*, будет закрывать про-

екцию точки 1′, лежащую на проекции прямой $A'B'$, т. к. она будет ближе к наблюдателю. Следовательно, на фронтальной плоскости проекция $D''K''$ будет закрывать проекцию $A''B''$. Границей видимости является проекция линии пересечения $M''N''$.

Для определения видимости на горизонтальной плоскости проекций H выбираем две скрещивающиеся прямые $A'B'$ и $D'E'$, горизонтальные проекции которых пересекаются в точках 3′ и 6′. По фронтальной проекции определяем, что проекция точки 3″, лежащая на проекции прямой $D''E''$, будет закрывать проекцию точки 6″, лежащую на проекции прямой $A''B''$, т.к. она будет ближе к наблюдателю. Следовательно, на горизонтальной плоскости проекция $D'E'$ будет закрывать проекцию $A'B'$. Границей видимости является проекция линии пересечения $N'M'$.

Задача 5. Построить две проекции линии пересечения плоскости α - общего положения, заданной следами и плоскости β - общего положения, заданной параллельными прямыми a и b.

Для решения данной задачи проводят вспомогательные плоскости-посредники частного положения (плоскости уровня), пересекающие заданные плоскости по прямым, недостающие проекции которых легко строятся и пересекаются в пределах чертежа.

Графическое решение задачи приведено на рис. 5.

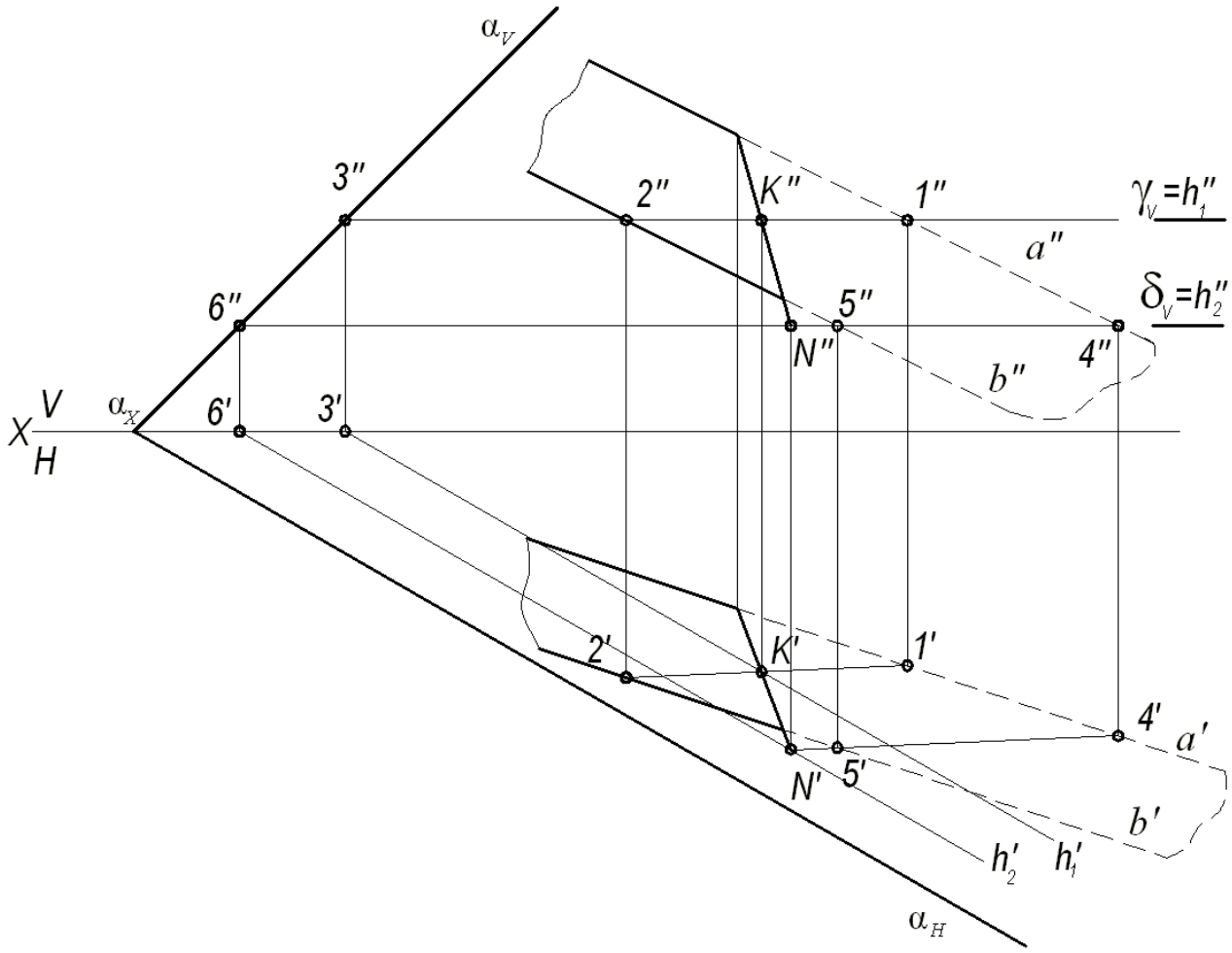
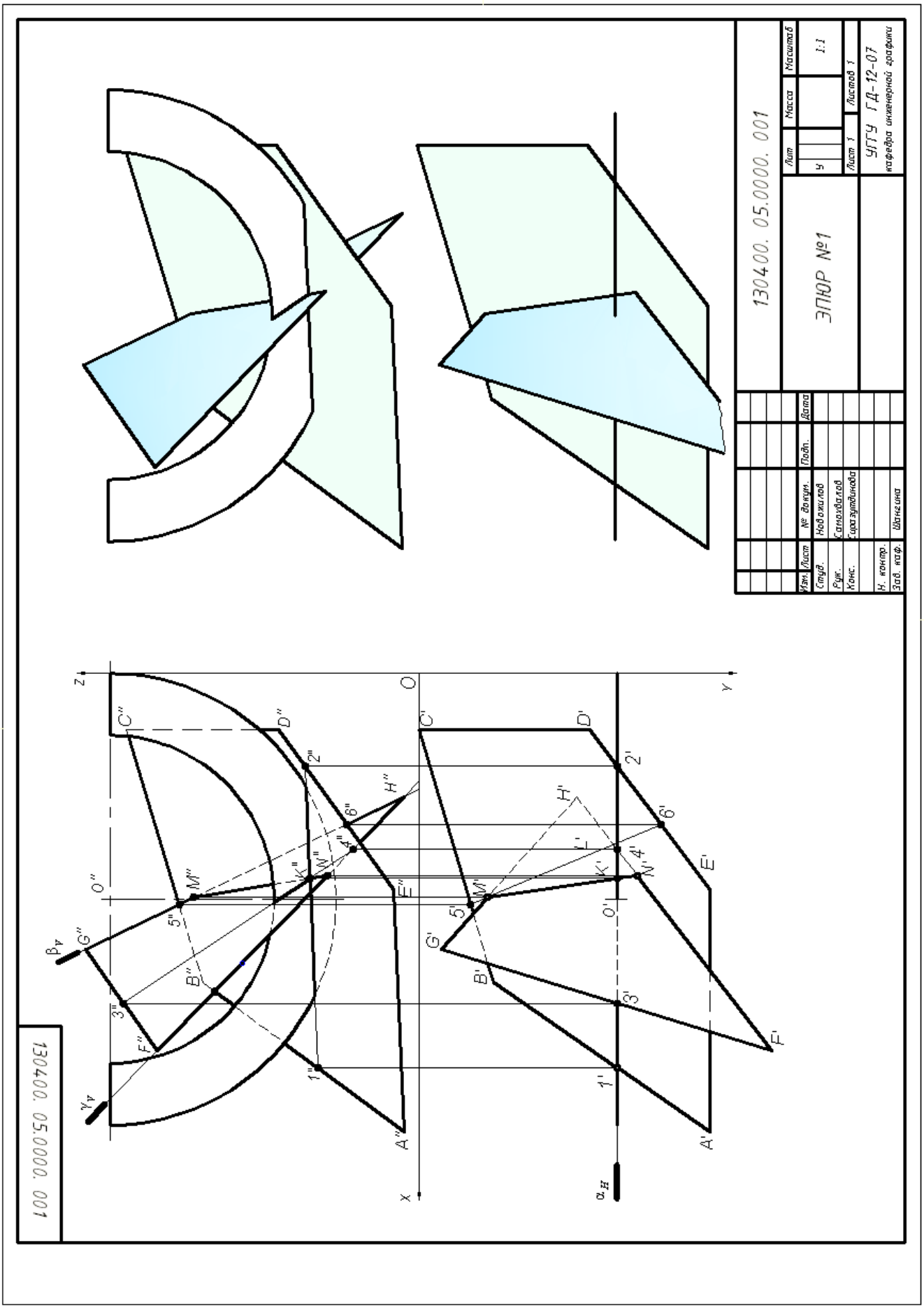


Рис. 5. Построение линии пересечения двух плоскостей

Вспомогательная горизонтальная плоскость-посредник γ задана следом γ_V и пересекает плоскость α по горизонтали, проходящей через точку 3, а плоскость β по горизонтали (1, 2). Горизонтальные проекции этих горизонталей пересекаются в точке *K*. Строят фронтальную проекцию точки *K*, используя свойство принадлежности точки прямой линии. Точка *K* принадлежит обеим плоскостям α и β. Вторая точка *N*, общая для двух плоскостей α и β, определяется второй вспомогательной плоскостью-посредником частного положения δ (на чертеже задана следом δ_V). Искомая прямая (*KN*) является линией пересечения двух плоскостей α и β.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордон В.О., Семенцов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии. Учеб. пособие. М.: Высшая школа. 2007.272 с.

2. Самохвалов Ю. И. Начертательная геометрия. Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2011. 121 с.

3. Самохвалов Ю. И., Шангина Е. И. Начертательная геометрия. Инженерная графика. Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2011. 96 с.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

Методические указания по самостоятельной работе студентов по направлению 15.03.01 – «Машиностроение», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование» 23.03.01 Технология транспортных процессов для студентов очного и заочного обучения

Автор: Хазин М.Л.

Одобрен на заседании кафедры
Эксплуатации горного оборудования
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Симисинов Д.И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 8 от 17.04.2019
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

Х12

Рецензенты: Тихонов И. Н., к-т. техн. наук, зав. кафедрой «Электронное машиностроение» УрФУ, Жуков Ю. Н., д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение» УрФУ

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 июня 2018 года (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Хазин М. Л. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: Методические указания по самостоятельной работе студентов по направлению 15.03.01 – «Машиностроение». Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 24 с.

В методических указаниях по самостоятельной работе приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Материаловедение», изложена методика решения задач, даны задачи, вопросы для самопроверки по разделам.

Методические указания предназначены для студентов направлений бакалавриата: 15.03.01 – «Машиностроение», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование», 23.03.01 Технология транспортных процессов, подготовка которых требует знаний по свойствам и применению металлических и неметаллических материалов.

© Хазин М. Л., 2019
© Уральский государственный горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование производства, выпуск современных разнообразных машиностроительных конструкций, специальных приборов, машин и различной аппаратуры невозможны без дальнейшего развития производства и изыскания новых материалов, как металлических, так и неметаллических.

Материаловедение является одной из первых инженерных дисциплин, основы которой широко используются при курсовом и дипломном проектировании, а также в практической деятельности инженера-машиностроителя.

Прогресс в области машиностроения тесно связан с созданием и освоением новых, наиболее экономичных материалов, обладающих самыми разнообразными механическими и физико-химическими свойствами. Свойства материала определяются его внутренним строением, которое, в свою очередь, зависит от состава и характера предварительной обработки. В курсе "Материаловедение" изучаются физические основы этих связей.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ЧАСТЬ I. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Строение металлов

Металловедение как наука о свойствах металлов и сплавов. Типы связи в твердых телах. Атомно-кристаллическое строение металлов. Процесс кристаллизации.

Рассмотрите типы химической связи в твердых телах, основное внимание обратите на особый тип металлической связи, который обусловливает отличительные свойства металлов: высокую электропроводность и теплопроводность, высокую пластичность и металлический блеск. Металлические тела характеризуются кристаллическим строением. Однако свойства реальных кристаллов определяются известными несовершенствами кристаллического строения. В связи с этим необходимо разобраться в видах несовершенств и особенно в строении дислокаций (линейных несовершенств), причинах их легкого перемещения в кристаллической решетке и влияния на механические свойства.

Термодинамические причины фазовых превращений являются одним из частных случаев общего закона природы: стремления любой системы

к состоянию с наименьшим запасом энергии (в данном случае свободной энергии). Уясните теоретические основы процесса кристаллизации, состоящего из двух элементарных процессов: зарождения и роста кристаллов, и влияния на эти параметры степени переохлаждения.

В процессе кристаллизации при формировании структуры литого металла решающее значение имеет реальная среда, а также возможность искусственного воздействия на строение путем модифицирования.

Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность металлического, ионного и ковалентного типов связи?
2. Каковы характерные свойства металлов и чем они определяются?
3. Что такое элементарная ячейка?
4. Что такое полиморфизм?
5. Что такое параметр кристаллической решетки, плотность упаковки и координационное число?
6. Что такое мозаичная структура?
7. Виды дислокаций и их строение.
8. Каковы термодинамические условия фазового превращения?
9. Каковы параметры процесса кристаллизации?
10. Что такое переохлаждение?

Теория сплавов

Сплавы, виды взаимодействия компонентов в твердом состоянии. Диаграммы состояния для случаев полной нерастворимости, неограниченной и ограниченной растворимости компонентов в твердом виде, а также для случая образования устойчивого химического соединения.

Необходимо отчетливо представлять строение металлов и сплавов в твердом состоянии. Уясните, что такое твердый раствор, химическое (металлическое) соединение, механическая смесь. Наглядное представление о состоянии любого сплава в зависимости от его состава и температуры дают диаграммы состояния. Нужно усвоить общую методику построения диаграмм состояния для различных случаев взаимодействия компонентов в твердом состоянии.

При изучении диаграмм состояния нужно уметь применять правило отрезков (для определения доли каждой фазы или структурной составляющей в сплаве), правило фаз (для построения кривых нагревания и охлаждения), определять химический состав фаз. С помощью правил Курнакова нужно уметь установить связь между составом, строением и свойствами сплава.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое компонент, фаза, физико-химическая система, число степеней свободы?
2. Приведите объяснение твердого раствора, механической смеси, химического (металлического) соединения.
3. Что представляют собой твердые растворы замещения и внедрения?
4. Как строятся диаграммы состояния?
5. Объясните принцип построения кривых нагревания и охлаждения с помощью правила фаз.

6. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования непрерывного ряда твердых растворов.

7. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая полной нерастворимости компонентов в твердом состоянии.

8. Начертите и проанализируйте диаграмму состояния для случая образования эвтектики, состоящей из ограниченных твердых растворов.

10. Каким образом определяются состав фаз и их количественное соотношение?

Пластическая деформация и механические свойства металлов

Напряжения и деформация. Явление наклепа. Стандартные механические свойства: твердость; характеристики, определяемые при растяжении; ударная вязкость; сопротивление усталости.

Рассмотрите физическую природу деформации и разрушения. Внимание уделите механизму пластической деформации, ее влиянию на плотность дислокаций. Уясните связь между основными характеристиками, строением и механическими свойствами. Разберитесь в сущности явления наклепа и его практическом использовании.

Изучите основные методы исследования механических свойств металлов и физический смысл определяемых при разных методах испытания характеристик.

Вопросы для самопроверки

1. В чем различие между упругой и пластической деформациями?

2. Как изменяется строение металла в процессе пластического деформирования?

3. Как изменяется плотность дислокаций при пластической деформации?

4. Как влияют дислокации на прочность металла?

5. Почему наблюдается огромное различие теоретической и практической прочности?

6. Как влияет изменение строения на свойства деформированного металла?

7. В чем сущность явления наклепа и какое он имеет практическое использование?

8. Какие характеристики механических свойств определяются при испытании на растяжение?

9. Что такое твердость?

10. Какие методы определения твердости вы знаете?

Влияние нагрева на структуру и свойства деформируемого металла

Необходимо знать сущность рекристаллизационных процессов: возврата, первичной рекристаллизации, собирательной (вторичной) рекристаллизации, протекающих при нагреве деформированного металла. Уясните, как при этом изменяются механические, физико-химические свойства и размер зерна. Установите влияние состава сплава и степени пластической деформации на протекание рекристаллизационных процессов. Научитесь выбирать режим рекристаллизационного отжига. Уясните его практическое значение, различие между холодной и горячей пластическими деформациями.

Вопросы для самопроверки

1. Как изменяются свойства деформированного металла при нагреве?
2. В чем сущность процесса возврата?
3. Что такое полигонизация?
4. Сущность процессов первичной и вторичной рекристаллизации.
5. Как влияют состав сплава и степень пластической деформации на температуру рекристаллизации?
6. Что такое критическая степень деформации?
7. В чем различие между холодной и горячей пластическими деформациями?
8. Как изменяются строение и свойства металла при горячей пластической деформации?
9. Каково назначение рекристаллизационного отжига и как он осуществляется?

Железо и его сплавы

Диаграмма состояния железо - цементит. Классификация железоуглеродистых сплавов. ГОСТы на металлы и сплавы. Фазы, образуемые легирующими элементами в сплавах железа. Структурные классы легированных сталей. Чугуны.

Научитесь вычерчивать диаграмму состояния железо - цементит и определять все фазы и структурные составляющие этой системы. С помощью правила фаз постройте кривые охлаждения (или нагревания) для любого сплава; разберитесь в классификации железоуглеродистых сплавов и усвойте, что различие между тремя классами (техническое железо, сталь, чугун) не является формальным (по содержанию углерода). Разные классы сплавов принципиально различны по структуре и свойствам. Технические железоуглеродистые сплавы состоят не только из железа и углерода, но и обязательно содержат постоянные примеси, попадающие в сплав в результате предыдущих операций при выплавке.

Изучите влияние легирующих элементов на критические точки железа и стали и объясните, при каком сочетании углерода и соответствующего легирующего элемента могут быть получены легированные стали ферритного, перлитного, аустенитного и ледебуритного классов.

Уясните влияние постоянных примесей на строение чугуна и разберитесь в различии металлической основы серых чугунов разных классов. Запомните основные механические свойства и назначение чугунов различных классов и их маркировку. Обратите внимание на способы получения ковких и высокопрочных чугунов. Изучите физическую сущность процесса графитизации.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое феррит, аустенит, перлит, цементит и ледебурит?
2. Какие превращения происходят в сплавах при температурах A1, A2, A3, A4, Acm?
3. Каковы структуры серых чугунов? 1
4. Каковы структура и свойства технического железа, стали и белого чугуна?
5. Как влияют легирующие элементы на положение критических точек железа и стали?
6. Какие легирующие элементы являются карбидообразующими?
7. Какие легирующие элементы способствуют графитизации?
8. Как влияют легирующие элементы на свойства феррита и аустенита?
9. В чем отличие серого чугуна от белого?
10. Классификация и маркировка серых чугунов.

Теория термической обработки стали

Превращения в стали при нагреве. Превращения переохлажденного аустенита. Мартенситное превращение и его особенности. Превращения аустенита при непрерывном охлаждении. Превращения при отпуске закаленной стали.

Теория и практика термической обработки стали - главные вопросы металловедения. Термическая обработки - один из основных способов влияния на строение, а следовательно, и на свойства сплавов.

При изучении превращений переохлажденного аустенита особое внимание обратите на диаграмму изотермического распада, устанавливающую связь между температурными условиями превращения, интенсивностью распада и строением продуктов превращения.

Изучите влияние легирующих элементов на кинетику и характер превращения аустенита в перлитной, промежуточной и мартенситной областях. В связи с влиянием легирующих элементов на диаграммы изотермического распада аустенита рассмотрите причины получения различных классов по структуре (перлитного, мартенситного, аустенитного). Уясните влияние ле-

гирующих элементов на превращения при отпуске. Запомните, что легирующие элементы, как правило, затормаживают процессы превращений.

Вопросы для самопроверки

1. Механизм образования аустенита при нагреве стали.
2. Каковы механизмы и температурные районы образования структур перлитного типа (перлита, сорбита, тростита) и бейнита?
3. В чем различие между перлитом, сорбитом и троститом?
4. Что такое мартенсит и в чем сущность и особенности мартенситного превращения?
5. Что такое критическая скорость закалки?
6. От чего зависит количество остаточного аустенита?
7. В чем сущность превращений, происходящих при отпуске?
8. Как влияют легирующие элементы на перлитное превращение?
9. В чем сущность явления отпускной хрупкости?
10. Как влияют легирующие элементы на превращения при отпуске?

Технология термической обработки

Основные виды термической обработки стали. Отжиг, нормализация, закалка, обработка холодом. Прокаливаемость стали. Отпуск стали. Поверхностная закалка.

Уясните влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали и физическую сущность процессов отжига, нормализации, закалки и обработки холодом. При изучении технологических процессов термической обработки особое внимание обратите на разновидности режимов и их назначение. Для выяснения причин брака при термической обработке стали следует прежде всего разобраться в природе термических и фазовых напряжений.

Уясните различие между закаливаемостью и прокаливаемостью стали, а также факторы, влияющие на эти характеристики. Разберитесь в способе получения высокопрочных деталей - термомеханической обработке.

Различные виды поверхностной закалки позволяют получить особое сочетание свойств поверхностного слоя и сердцевины, что приводит к повышению эксплуатационных характеристик изделия.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите определения основных процессов термической обработки: отжига, нормализации и закалки.
2. Какие вам известны разновидности процесса отжига и для чего они применяются?
3. Какова природа фазовых и термических напряжений?
4. Какие вам известны разновидности закалки и в каких случаях они применяются?

5. Каковы виды и причины брака при закалке?

6. Какие Вам известны группы охлаждающих сред и каковы их особенности?

7. От чего зависит прокаливаемость стали и в чем ее технологическое значение?

8. Какие вам известны технологические приемы уменьшения деформации при термической обработке?

9. Для чего и как производится обработка холодом?

10. . В чем сущность и особенности термомеханической обработки.

Химико-термическая обработка стали и поверхностное упрочнение наклепом

Физические основы химико-термической обработки. Цементация. Азотирование. Цианирование. Диффузионная металлизация. Дробеструйный наклеп.

При изучении основ химико-термической обработки следует исходить из того, что принципы химико-термической обработки едины. Процесс химико-термической обработки состоит из выделения атомов насыщающего вещества внешней средой, захвата (сорбции) этих атомов поверхностью металла и диффузии их внутрь металла. Поэтому рассмотрите реакции в газовой среде при цементации или азотировании и усвойте современные представления о процессе диффузии в металлах. В большинстве случаев насыщение может происходить из твердой, жидкой и газовой сред, а поэтому нужно знать наиболее удачные варианты насыщения для каждого метода химико-термической обработки и конечные результаты (поверхностное упрочнение и изменение физико-химических свойств).

Разберитесь в технологии проведения отдельных видов химико-термической обработки. Уясните преимущества и области использования цементации, азотирования, цианирования и различных видов диффузионной металлизации. Объясните влияние легирования на механизм формирования структуры поверхностного слоя. Рассмотрите сущность и назначение дробеструйного поверхностного наклепа и его влияние на эксплуатационные свойства деталей машин.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются физические основы химико-термической обработки?

2. Химизм процесса азотирования.

3. Химизм процесса цементации.

4. Назначение цементации и режим термической обработки после нее.

5. Для каких целей и как производится нитроцементация?

6. Каковы свойства цементированных и азотированных изделий?

7. Химизм и назначение процесса цианирования.

8. Сущность и назначение процесса борирования.

9. Как изменяются свойства изделий при дробеструйной обработке и какова природа этих изменений?

10. Как влияет поверхностное упрочнение на эксплуатационные характеристики изделий?

Конструкционные стали

Конструкционные стали общего назначения. Цементуемые, улучшаемые, пружинно-рессорные стали. Высокопрочные мартенситостареющие стали. Коррозионно-стойкие и жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы.

Нужно усвоить принципы маркировки сталей и уметь по маркировке определить состав и особенности данной стали, а также иметь общее представление о разных группах стали.

Разберитесь во влиянии легирующих элементов на изменение структуры и свойств стали, особое внимание уделите технологическим особенностям термической обработки легированной стали различных групп.

Рассмотрите способы классификации, основные принципы выбора для различного назначения цементуемых, улучшаемых, пружинно-рессорных, износостойких, высокопрочных, нержавеющих, жаропрочных и других сталей.

При изучении жаропрочных сталей обратите внимание на особенности поведения металла в условиях нагружения при повышенных температурах. Уясните сущность явления ползучести и основные характеристики жаропрочности; каковы предельные рабочие температуры и области применения сталей различного структурного класса.

В качестве примеров указать две-три марки стали каждой группы, расшифровать состав, назначить режим термической обработки и охарактеризовать структуру, свойства и область применения.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите химический состав сталей марок: 40, 20Х, 30ХГСА, 50Г, Г13, ШХ15, 18Х2Н4ВА, 5ХНМ, Х18Н9Т, Н18К8М5Т.

2. Как классифицируются конструкционные стали по технологии термической обработки?

3. Какие требования предъявляются к цементуемым изделиям?

4. Чем определяется выбор марки цементуемой стали для изделий различного назначения?

5. Какова термическая обработка цементуемых деталей?

6. Чем объясняется назначение процесса улучшения для конструкционной стали?

7. Как влияет степень легирования на механические свойства улучшаемой стали?

8. Какие требования предъявляются к рессорно-пружинным сталям?
9. Какие вы знаете износостойкие стали?
10. Каковы требования, предъявляемые к нержавеющим сталям?

Инструментальные стали

Классификация и маркировка инструментальных сталей. Стали, не обладающие и обладающие теплостойкостью. Стали для режущего, измерительного и штампового инструмента. Твердые сплавы.

Изучите классификацию инструментальных сталей в зависимости от назначения инструмента и в связи с этим рассмотрите основные эксплуатационные свойства инструмента каждой группы. Особое внимание уделите быстрорежущим сталям. Уясните причины их высокой красностойкости и особенности термической обработки.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите химический состав сталей марок: У10, 9ХС, ХВГ, Р18, Р18Ф2, Р9К10, Р9М4К8, Х12, 6ХВ2С, Х12М.
2. Как классифицируются инструментальные стали?
3. Требования, предъявляемые к сталям для режущего инструмента.
4. Приведите примеры углеродистых и легированных сталей, используемых для режущего инструмента.
5. Укажите и расшифруйте основные марки быстрорежущей стали.
6. Что представляют собой твердые сплавы?
7. Каковы свойства и преимущества твердых сплавов?
8. Укажите марки твердых сплавов, их состав и назначение.

Алюминий, магний и их сплавы

Деформируемые и литейные сплавы.

Обратите внимание на основные преимущества алюминиевых и магниевых сплавов, связанные с их высокой удельной прочностью. Рассмотрите классификацию алюминиевых сплавов и обоснуйте технологический способ изготовления изделий из сплавов каждой группы. Разберитесь в основах теории термической обработки (старения) легких сплавов. Обоснуйте выбор способа упрочнения деформируемых и литейных сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Свойства и применение алюминия.
2. Как классифицируются алюминиевые сплавы?
3. Какие сплавы упрочняются путем термической обработки?
4. В чем сущность процесса старения?
5. Какие сплавы не упрочняются путем термической обработки?
6. Какие вы знаете литейные алюминиевые сплавы?

7. Какие вы знаете жаропрочные алюминиевые сплавы?
8. Какие вы знаете порошковые алюминиевые сплавы?
9. Каковы свойства магния?
10. Укажите свойства и назначение сплавов на основе магния.

Медь и ее сплавы

Латуни и бронзы.

Изучите классификацию медных сплавов и уясните маркировку, состав, структуру, свойства и области применения разных групп медных сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияют примеси на свойства чистой меди?
2. Как классифицируются медные сплавы?
3. Какие сплавы относятся к латуням?
4. Приведите несколько примеров латуней с указанием их состава, структуры, свойств и назначения.
5. Какие сплавы относятся к бронзам? Их маркировка и состав.
6. Укажите строение, свойства и назначение различных бронз.
7. Какой термической обработке подвергается бериллиевая бронза?

Композиционные материалы

Обратите внимание на принципиальное отличие композиционного материала, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. В связи с тем, что композит обладает свойствами, которыми не может обладать ни один из его компонентов в отдельности, такие материалы становятся весьма перспективными в различных областях новой техники. Укажите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможность использования композитов в качестве жаропрочных материалов и способы повышения их жаропрочности.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое композиты?
2. Как подразделяют композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
3. Как подразделяют композиты по виду матрицы?
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Какие композиционные материалы используют для работы при высоких температурах (жаропрочные)?

ЧАСТЬ II. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Пластические массы

В основе неметаллических материалов лежат полимеры. Обратите внимание на особенности строения полимеров, которые определяют их механические и физико-химические свойства. Классификация полимерных материалов. Свойства и области применения пластмасс.

Пластические массы - искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связывающих веществ, которые являются обязательными компонентами пластмасс. Изучите различные группы пластических масс, их свойства и области применения.

Вопросы для самопроверки

1. Что лежит в основе классификации полимеров?
2. Какие материалы относятся к обратимым и необратимым полимерам?
3. Какие вы знаете наполнители пластмасс?
4. Для чего вводят в пластмассы отвердители?
5. Приведите примеры пластиков с твердыми наполнителями.
6. Укажите область применения термопластов и реактопластов.
7. В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическими материалами? Каковы их недостатки?

Резиновые материалы

Как технический материал резина отличается от других материалов высокими эластичными свойствами, что связано со свойствами самой основы резины - каучука. Уясните состав резины, способы получения и влияние различных добавок на ее свойства. Подробно рассмотрите влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико-механические свойства и области применения резин различных марок.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой резина?
2. Какие компоненты относятся к совмещающимся и как они влияют на свойства резины?
3. Объясните роль порошковых наполнителей.
4. В каких случаях применяются волокнистые наполнители?

Неорганические материалы

Поскольку большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами, эти материалы получили общее название силикатных материалов. Обратите внимание на внутреннее

строение неорганического стекла. Уясните сущность стеклообразного состояния как разновидности аморфного состояния вещества. Разберитесь в изменении свойств стекла в зависимости от состава. Рассмотрите стеклокристаллические материалы (ситаллы) и их отличие от стекла минерального. Уясните причины образования кристаллической структуры ситаллов.

При изучении керамических материалов обратите внимание на отличие технической керамики от обычной. Разберитесь в химическом и фазовом составах технической керамики, ее свойствах и области применения.

Вопросы для самопроверки

Какие силикатные материалы относятся к минеральному стеклу?

Их отличительные свойства.

Как достигаются электроизоляционные или электропроводящие свойства стекла?

Объясните причины, вызывающие кристаллизацию ситаллов (стеклокристаллитов).

Укажите область применения ситаллов.

5. В чем отличие технической керамики от обычной? Укажите область ее применения.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Задания на контрольные работы выдают индивидуально каждому студенту. Задание включает вопросы и задачи по основным разделам курса.

При выполнении контрольных работ студенты изучают методику выбора и назначения сталей и сплавов для изготовления конкретных деталей машин и различного вида инструментов, а также знакомятся с особенностями строения, технологией получения и областью применения наиболее распространенных неметаллических материалов. Одновременно студент должен научиться пользоваться рекомендуемыми справочными материалами, с тем чтобы уметь в дальнейшем правильно выбрать материал при курсовом и дипломном проектировании.

Перечень ГОСТов, необходимых для выполнения контрольных работ, приведен в приложении. Диаграмма состояния железо-цементит и диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали У8 также приведены в приложении (см. рис. 1 и 2).

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Вариант 1

1. Что такое ликвация? Виды ликвации, причины их возникновения и способы устранения.

2. Дайте определение ударной вязкости (KCV). Опишите методику измерения этой характеристики механических свойств металла.

3. Вычертите диаграмму состояния железо - карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 3,6% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 45...50 HRC. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

5. Как изменяются структура и свойства стали 40 и У12 в результате закалки от температуры 750 и 850° С. Объясните с применением диаграммы состояния железо-цементит. Выберите оптимальный режим нагрева под закалку каждой стали.

Вариант 2

1. Как и почему скорость охлаждения при кристаллизации влияет на строение слитка?

2. Из листа свинца путем прокатки при комнатной температуре была получена тонкая фольга. Твердость и прочность этой фольги оказались такими же, как у исходного листа. Объясните, какие процессы происходили при пластической деформации свинца и какими изменениями структуры и свойств они сопровождались.

3. Вычертите диаграмму состояния железо-карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,8% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Используя диаграмму состояния железо -цементит и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 40 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости 400 НВ. Опишите превращения на всех этапах термической обработки и получаемую структуру.

5. Для каких целей применяется диффузионный отжиг? Как выбирается режим такого отжига? Приведите примеры.

Вариант 3

1. Опишите виды твердых растворов. Приведите примеры.

2. Дайте определение твердости. Какими методами измеряют твердость металлов и сплавов? Опишите их.

3. Вычертите диаграмму состояния железо-цементит, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 2,2% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обес-

печивающей получение твердости 150 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура получается в данном случае.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит обоснуйте выбор режима термической обработки, применяемой для устранения цементитной сетки в заэвтектоидной стали. Дайте определение выбранного режима обработки и опишите превращения, которые происходят при нагреве и охлаждении.

Вариант 4

1. Опишите физическую сущность и механизм процесса кристаллизации.

2. Для чего проводится рекристаллизационный отжиг? Как назначается режим этого вида обработки? Приведите несколько конкретных примеров.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,4 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Используя диаграмму изотермического превращения аустенита, объясните, почему нельзя получить в стали чисто мартенситную структуру при охлаждении ее со скоростью меньше критической?

5. После термической обработки углеродистой стали получена структура цементит + мартенсит отпуска. Нанесите на диаграмму состояния железо-цементит ординату заданной стали (примерно) и обоснуйте температуру нагрева этой стали под закалку. Так же укажите температуру отпуска.. Опишите превращения, которые произошли при термической обработке.

Вариант 5

1. Что такое ограниченные и неограниченные твердые растворы? Каковы необходимые условия образования неограниченных твердых растворов?

2. Опишите сущность явления наклепа и примеры его практического использования.

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава содержащего 1,1% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит + мартенсит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите интервалы температур превращений и опишите характер превращения в каждом из них.

5. С помощью диаграммы состояния железо - цементит установите температуру полной и неполной закалки для стали 45 и опишите структуру и свойства стали после каждого вида термической обработки.

Вариант 6

1. Начертите диаграмму состояния для случая ограниченной растворимости компонентов в твердом виде. Укажите структурные составляющие во всех областях этой диаграммы и опишите строение типичных сплавов различного состава, встречающихся в этой системе.

2. Волочение медной проволоки проводят в несколько переходов. В не-

которых случаях проволока на последних переходах разрывается. Объясните причину разрыва и укажите способ его предупреждения.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,5 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 200 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура получается в этом случае.

5. Используя диаграмму состояния железо-цементит, установите температуры нормализации, отжига и закалки для стали У12. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали после каждого вида обработки.

Вариант 7

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к железу. Какое практическое значение оно имеет?

2. Как изменяются свойства деформированного металла при нагреве, какие процессы происходят при этом?

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,7 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей твердость 20...25 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура образуется в данном случае.

5. Плашки из стали УНА закалены: первая - от температуры 760° С, вторая - от температуры 850° С. Используя диаграмму состояния железо - цементит, укажите температуры закалки, объясните, какая из этих плашек закалена правильно, имеет более высокие режущие свойства и почему.

Варианта 8

1. В чем сущность процесса модифицирования? Приведите пример использования модификаторов для повышения свойств литейных алюминиевых сплавов.

2. В чем различие между холодной и горячей пластической деформацией? Опишите особенности обоих видов деформации.

3. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 5,0 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая 45 HRC, вторая - 60 HRC. Используя диаграмму состояния железо - цементит и учитывая превращения, происходящие при отпуске, укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, и объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

5. Сталь 40 подвергалась закалке от температур 760 и 840º С. С помощью диаграммы состояния железо-цементит укажите, какие структуры образуются в каждом случае. Объясните причины образования разных структур и рекомендуйте оптимальный режим нагрева под закалку данной стали.

Вариант 9

1. Охарактеризуйте особенности металлического типа связи и основные свойства металлов.

2. Какими стандартными характеристиками механических свойств оценивается прочность металлов и сплавов? Как эти характеристики определяются?

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 4,8 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. С помощью диаграммы состояния железо-цементит установите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20, Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали.

5. Почему для изготовления инструмента применяется сталь с исходной структурой зернистого перлита? В результате какой термической обработки можно получить эту структуру? Приведите конкретный режим для любой инструментальной стали.

Вариант 10

1. Опишите явление полиморфизма в приложении к титану. Какое практическое значение оно имеет?

2. Каким способом можно восстановить пластичность холоднокатаной медной ленты? Назначьте режим термической обработки и опишите сущность происходящих процессов.

3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 1,4% С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

4. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима термической обработки, обеспечивающей получение твердости 60...63 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура при этом получается. Опишите сущность происходящих превращений.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит опишите структурные превращения, происходящие при нагреве доэвтектоидной стали. Покажите критические точки АС1 и АС3 для выбранной вами стали. Установите режим нагрева этой стали под закалку. Охарактеризуйте процесс закалки, опишите получаемую структуру и свойства стали.

ЛИТЕРАТУРА

Арзамасов Б. Н., Сидорин И. И. и др. Материаловедение: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 648 с.

Батышев А. И., Безпалько В. И., Смолькин А. А. Материаловедение и технология материалов М.: Изд-во Инфра-М, 2012. 288 с.

Богодухов С. И., Козик Е. С.. Материаловедение: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 2015. 504 с.

Бондаренко, Г. Г. Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учебник для бакалавров / под ред. Г. Г. Бондаренко. 2-е изд. М.: Юрайт, 2014. 359 с.

Комаров О. С., Керженцева А. Ф., Макаева Г. Г. Материаловедение в машиностроении. М.: Высшая школа. 2009. 304 с.

Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. М.: Машиностроение, 2009. 528 с.

Хазин М. Л. Материаловедение: методические материалы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2008. 208 с.

Хазин М. Л. Материаловедение: учебно-практическое пособие. Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 184 с.

.

ПРИЛОЖЕНИЯ

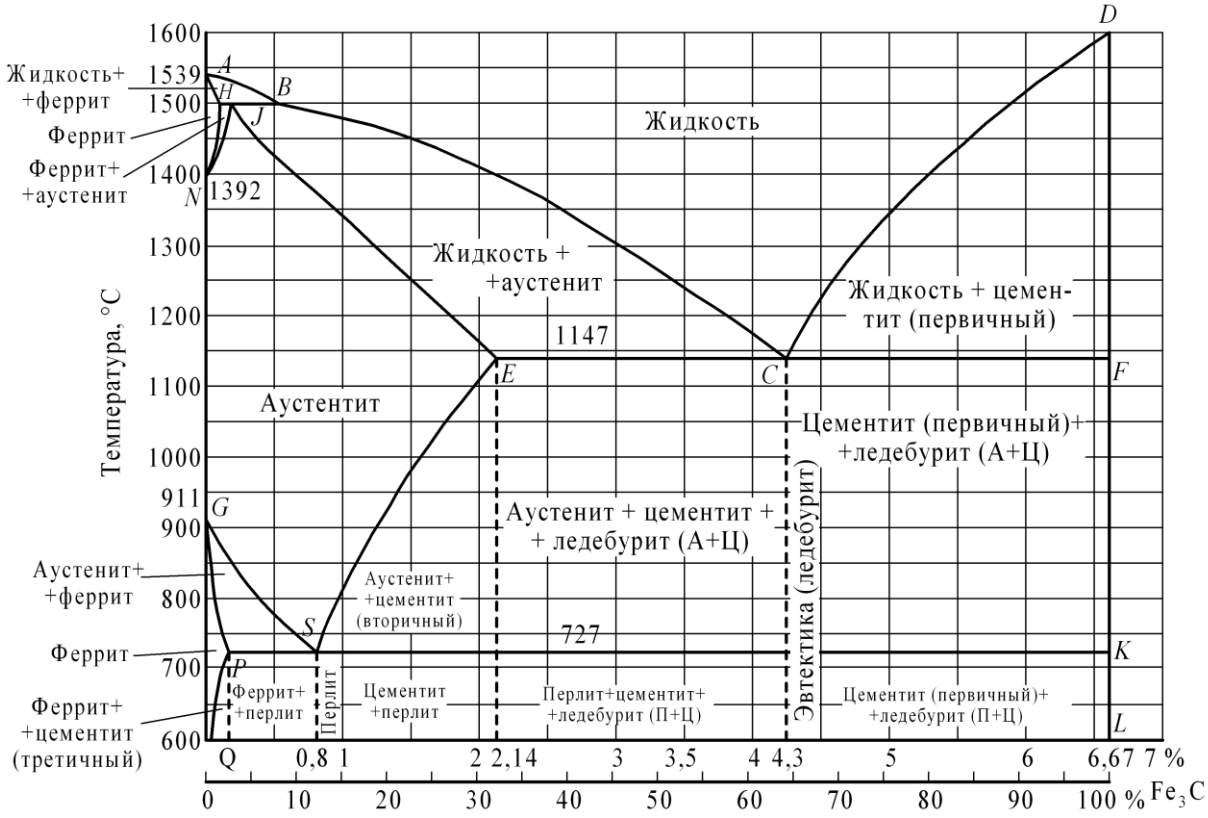


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-цементит

Перечень ГОСТов на стали и сплавы

1. Сталь

Углеродистая обыкновенного качества – ГОСТ 380-71

Углеродистая качественная – ГОСТ 1050-74

Легированная, конструкционная, качественная, рессорно-пружинная– ГОСТ 1050-74

Углеродистая инструментальная – ГОСТ 1435-74

Легированная инструментальная – ГОСТ 5950-73

Подшипниковая – ГОСТ 801-78

Быстрорежущие стали – ГОСТ 19265-73

Конструкционный повышенной и высокой обрабатываемости резанием – ГОСТ 1414-75

Жаростойкие и жаропрочные – ГОСТ 5632-72

Коррозионностойкие – ГОСТ 5632-72

Сплавы твердые спеченные – ГОСТ 3882-74

Магнитотвердые (для постоянных магнитов) – ГОСТ 6862-71

Электротехнические – ГОСТ 21427.0-75...

ГОСТ 21427.3-75

2. Чугун

Серый – ГОСТ 1412-79

Ковкий – ГОСТ 1215-79

Высокопрочный – ГОСТ 7293-85

Жаростойкий – ГОСТ 7769-75
3. Алюминий и его сплавы
Алюминий – ГОСТ 11069-74
Деформируемые – ГОСТ 4784-74
Литейные – ГОСТ 2685-75
4. Медь и ее сплавы
Медь ГОСТ 859 – 78
Латунь двойная и многокомпонентная
деформируемая – ГОСТ 15527-70
Латунь литейная – ГОСТ 17711-80
Бронза оловяннистая деформируемая – ГОСТ5017-74
Бронза безоловяннистая деформируемая – ГОСТ 18175-78
Бронза оловяннистая литейная – ГОСТ 613-79
Бронза безоловяннистая литейная – ГОСТ 493-79
Медно-никелевые сплавы – ГОСТ 492-73
5. Титановые сплавы – ГОСТ 19807-74
6. Антифрикционные сплавы
Алюминиевые – ГОСТ 14113-78
Цинковые – ГОСТ 21437-75
Баббиты – ГОСТ 1320-74
7. Магний и его сплавы
Магний – ГОСТ 804-72
Деформируемые – ГОСТ 14957-76
Литейные – ГОСТ 2856-79

Учебное издание

Хазин Марк Леонтьевич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие
по выполнению практических и
самостоятельных работ
для студентов очного и заочного обучения
направлений бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»,
15.03.02 – «Технологические машины и оборудование»
23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Редактор Л. В. Устьянцева

Компьютерная верстка автора

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,71. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

М. Л. Хазин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие



Екатеринбург
2019

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горномеханического факультета
«15» декабря 2017 г.
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

М. Л. Хазин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие
по выполнению практических
и самостоятельных работ
для студентов очного и заочного обучения
направлений специалитета
21.05.04 Горное дело
бакалавриата:
15.03.01 – «Машиностроение»,
15.03.02 – «Технологические
машины и оборудование»

Издание УГГУ
Екатеринбург, 2019

Х12

Рецензенты: *Тихонов И. Н.,* к-т. техн. наук, зав. кафедрой «Электронное машиностроение» УрФУ, *Жуков Ю. Н.*, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение» УрФУ

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 июня 2018 года (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Хазин М. Л.

Х12 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: учебно-практическое пособие / М. Л. Хазин, Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 184 с.

В учебном-практическом пособии приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Материаловедение», изложена методика решения задач, даны задачи, вопросы для самопроверки по разделам, тесты и кроссворды.

Пособие предназначено для студентов направлений специалитета 21.05.04 Горное дело и бакалавриата: 15.03.01 – «Машиностроение», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование», подготовка которых требует знаний по свойствам и применению металлических и неметаллических материалов.

© Хазин М. Л., 2019
© Уральский государственный горный университет, 2019

Учебное издание

Хазин Марк Леонтьевич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-практическое пособие
по выполнению практических и
самостоятельных работ
для студентов очного и заочного обучения
направлений
направлений специалитета
21.05.04 Горное дело
бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»,
15.03.02 – «Технологические
машины и оборудование»

Редактор *Л. В. Устьянцева*

Компьютерная верстка автора

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 11,7. Уч.-изд. л. 13,37. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Предисловие

В ФГОСы технических специальностей машиностроительного профиля включена дисциплина «Материаловедение», изучаемая на 1-м курсе. Уникальность данной учебной дисциплины заключается в ее комплексности с точки зрения широты рассматриваемого учебного материала: от свойств и кристаллического строения металлов до химико-термической обработки и технологических методов формообразования заготовок и деталей машин. При наличии достаточного перечня учебников и учебных пособий по дисциплине «Материаловедение», в настоящее время нет сборника практических заданий и задач, что затрудняет качество проведения занятий.

Курс материаловедения должен дать студентам не только сообщаемые в лекциях знания об основных закономерностях, определяющих строение и свойства материалов, но и научить их самостоятельно пользоваться технической, в том числе справочной, литературой для выбора основных технических материалов и назначения режимов их обработки в зависимости от условий эксплуатации деталей.

Опыт преподавания показал, что большой материал курса усваивается лучше и прочнее, если студенты наряду с выполнением обычно принятых лабораторных работ учатся «чтению» диаграмм состояния и типичных структур металлов и приобретают навыки в характеристике и оценке свойств многочисленных и разнообразных материалов.

В соответствие с этим в настоящем пособии предусмотрены три формы занятий со студентами: 1) анализ в аудитории наиболее трудных для восприятия тем и вопросов; 2) ознакомление и анализ в аудитории типовых задач; 3) выполнение домашних заданий.

Решение задач по материаловедению сопряжено с использованием разнообразных дополнительных данных, разбросанных в технической литературе. В этой связи издание снабжено справочным приложением, содержащим информацию по свойствам материалов, методам расчета технологических процессов и пр.

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение - наука, изучающая закономерности, связывающие состав и структуру материалов с их свойствами и закономерности изменения этих свойств под влиянием внешних воздействий, возникающих в процессе производства, упрочняющей обработки и эксплуатации изделий из этих материалов.

Материаловедение – прикладная наука, ее фундаментом являются разделы физики и химии, посвященные атомному строению химических элементов, свойствам кристаллов, закономерностям процессов кристаллизации и фазовых превращений в твердых телах.

Материаловедение - постоянно развивающаяся наука, непрерывно обогащающаяся за счёт разработки новых сталей и сплавов, в свою очередь стимулирующих прогресс во всех областях науки и техники. Особенно интенсивно развивается материаловедение в последние десятилетия. Это объясняется потребностью в новых материалах для развития машиностроения, космоса, электроники. Основной задачей материаловедения является создание материалов с заранее заданными свойствами для конкретных условий эксплуатации. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление). Замена ряда металлических деталей оборудования на углепластики из эпоксидной смолы, армированной углеродными волокнами, позволяет уменьшить расход топлива, массу машины на 40 %; повысить её прочность и коррозионную стойкость.

Поэтому любой выпускник технического вуза независимо от специальности должен иметь базовые представления о строении и свойствах основных промышленных материалов и методах целенаправленного изменения этих свойств.

Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые такими дисциплинами, как «Физика» и «Химия».

Объектом изучения дисциплины «Материаловедение» являются в основном конструкционные и инструментальные материалы.

Задачей освоения дисциплины «Материаловедение» является приобретение знаний:

- закономерностей, связывающих химический состав, структуру и свойства материалов;
- методов целенаправленного изменения их свойств;
- влияния внешней среды на структуру и свойства материалов;
- химического состава, свойств и областей применения основных промышленных материалов, а также способов и режимов их упрочнения.

Цель изучения дисциплины – подготовка специалиста, способного производить оптимальный выбор материалов и упрочняющих технологий для

изготовления качественных изделий различного назначения.

В результате освоения дисциплины студент должен:

1) *знать*:

- общую классификацию материалов, их характерные свойства, области применения;
- типовые методы измерения параметров и свойств материалов;
- закономерности и практические способы воздействия на механические свойства металлических сплавов путем изменения их химического состава и структуры;

2) *уметь*:

- выбирать материалы с необходимым комплексом физико-механических характеристик;
- проводить измерения параметров материалов;
- выбирать способы и режимы упрочняющей обработки для изделий различного назначения;

3) *владеть*:

- навыками использования технической и справочной литературы по материаловедению;
- навыками применения стандартных и оригинальных методик для определения физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий машиностроения.

Хотя дисциплина «Материаловедение» изучается студентами на первом курсе в базовой части основной образовательной программы, она закладывает основы профессиональных знаний и умений, позволяющих решать производственные, конструкторские и технологические задачи, связанные с оптимизацией выбора материалов и технологий изготовления и упрочнения изделий различного назначения. Дисциплина «Материаловедение» является базовой для таких дисциплин, как «Основы технологии машиностроения», «Теория и технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин» и других, связанных с конструированием, технологией производства, эксплуатацией и ремонтом машин и оборудования.

Знания и умения, приобретенные при изучении курса материаловедения, используются в курсовых и выпускных квалификационных работах.

Справочный материал, необходимый для решения задач, приведен в приложении.

1.1. СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ

1.1. Методические указания

При изучении данной темы необходимо помнить о том, что свойства материалов определяются их строением. Рассмотрите основные типы химической связи в твердых телах, основное внимание обратите на особый тип металлической связи, который обусловливает отличительные свойства металлов.

Необходимо понять, что в природе существует две разновидности твердых тел, различающихся по своим свойствам, – кристаллические и аморфные. Атомно-кристаллическое строение металлов и металлических сплавов, а также наличие в них металлической связи определяют их специфический комплекс свойств: высокую электропроводность и теплопроводность, высокую пластичность и металлический блеск.

Структура реальных кристаллов всегда отличается от идеальных, поэтому при изучении этой темы особое внимание следует обратить на дефекты кристаллического строения. *Дефект* – это любое нарушение идеального кристаллического строения. Дефекты кристаллического строения классифицируют по геометрическому признаку и различают точечные, линейные, поверхностные и объемные.

1.2. Краткие теоретические сведения

В зависимости от соотношения энергии теплового движения частиц (атомов, ионов или молекул), образующих данное вещество, и энергии их взаимодействия все материалы при нормальных условиях могут находиться в газообразном, жидком или твердом состояниях. Переход вещества из газообразного состояния в жидкое и далее в твердое сопровождается ростом упорядоченности в расположении частиц в пространстве, которое характеризуется параметром «порядок».

Нулевой порядок или беспорядок соответствует газообразному состоянию вещества, когда энергия теплового движения частиц превышает энергию их взаимодействия.

Ближний порядок соответствует жидкому состоянию, когда энергия теплового движения частиц, образующих вещество, сравнима с энергией их взаимодействия. В жидкости частицы располагаются в определенном порядке, который сохраняется только на расстоянии не более 8-10 межатомных (межмолекулярных) расстояний. Далее располагается другая группа частиц с иным упорядоченным расположением и т. д.

В твердом состоянии энергия взаимодействия частиц, образующих вещество, значительно превышает энергию их теплового движения. Такими

частицами являются атомы, ионы или молекулы. Твердое состояние реализуется в двух типах структур - кристаллической и аморфной.

Аморфной структуре соответствует ближний порядок, т. е. строение твердых тел, находящихся в аморфном состоянии, сходно со строением жидкостей.

Дальний порядок – соответствует кристаллической структуре. В этом случае частицы, образующие кристалл, располагаются в геометрически правильном порядке, который сохраняется на сколь угодно большом расстоянии.

Свойства элементов в первую очередь определяются электронным строением атомов. В зависимости от электронного строения атомы могут образовывать различные типы связей. Тип связи влияет на механические свойства материала. Различают следующие основные типы связей: ионную, ковалентную, межмолекулярную и металлическую.

Описание физических свойств металлов обусловлено особенностями их кристаллического строения. Атомы (частицы) твердого тела стремятся к такому расположению в пространстве, чтобы энергия их взаимодействия была минимальной. Этому соответствует определенный порядок в пространственном размещении частиц, определяемый понятием «кристаллическая решетка».

Кристаллическая решетка – воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются частицы (атомы, ионы или молекулы), образующие кристалл.

Элементарная ячейка – часть кристалла, имеющая минимальный объем, содержащая минимальное количества частиц и сохраняющая все особенности кристаллического строения. Элементарная ячейка повторяется в пространстве и образует кристалл.

Кристаллические решетки характеризуются периодом решетки, координационным числом, плотностью упаковки и базисом.

Базис решетки – количество частиц, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.

Период решетки (a, b, c) - расстояние между центрами двух соседних частиц, располагающихся в параллельных плоскостях.

Координационное число К - количество частиц, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от любой произвольно выбранной частицы в кристаллической решетке.

Коэффициент упаковки - отношение суммарного объема, занимаемого всеми частицами кристалла, к объему этого кристалла $\eta = \Sigma v/V$.

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними. Плотность упаковки атомов в разных плоскостях и по разным направлениям в кристалле разная. Поэтому и

свойства кристаллического тела в разных направлениях будут разные.

Анизотропия – зависимость физических свойств от направления в кристалле.

Изотропия – независимость физических свойств от направления в кристалле.

Некоторые металлы могут существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давления, температуры).

Полиморфное превращение или *аллотропия* - это способность металлов изменять кристаллическую структуру в зависимости от внешних термодинамических условий (давления, температуры).

Каждый вид решетки представляет собой *модификацию,* которая обозначается буквами греческого алфавита перед обозначением металла, например γ-Fe или β-Ti.

1.3. Вопросы

1. Каков базис кристаллической решетки Г ЦК?

1) 14; 2) 6; 3) 4.

2. Покажите расположение атомов A и B в элементарной ячейке химического соединения с формулой A_1B_1, если тип решетки ОЦК. (Учтите понятие «базис»).

3. Почему тела с ионной связью не проводят электрический ток?

4. В чем причина хрупкости тел с ковалентным типом связи (алмаза)?

5. Чем можно объяснить электропроводность металлов?

6. Сравнивая ионный, ковалентный и металлический типы связей и считая условно схему на рис. 1.1 кристаллической решеткой металла, попытайтесь объяснить возможность пластической деформации металла (изменение формы кристалла без его разрушения).

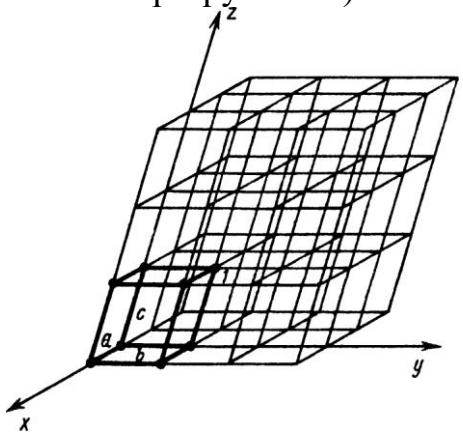


Рис. 1.1. Схема кристаллической решетки

7. В баллон с нагретым газом поместили турбину. Будут ли вращаться лопатки турбины? Если да, то почему?

1) будут, так как частицы газа, ударяясь о лопатки, передадут им свою

энергию, и турбина закрутится; 2) не будут, так как частицы газа хаотично бомбардируют лопатки со всех сторон примерно с одинаковой энергией и направленного действия силы для превращения турбины не будет.

8. Как изменяется энергия кристалла при возрастании количества (плотности) дислокаций?

энергия: 1) возрастает; 2) убывает.

9. Могут ли дислокации перемещаться внутри кристалла без действия внешней нагрузки? Изменяется ли количество дефектов в материале со временем? Могут ли в течение времени одни дефекты превращаться в другие? Какие явления содействуют перекомбинации дефектов?

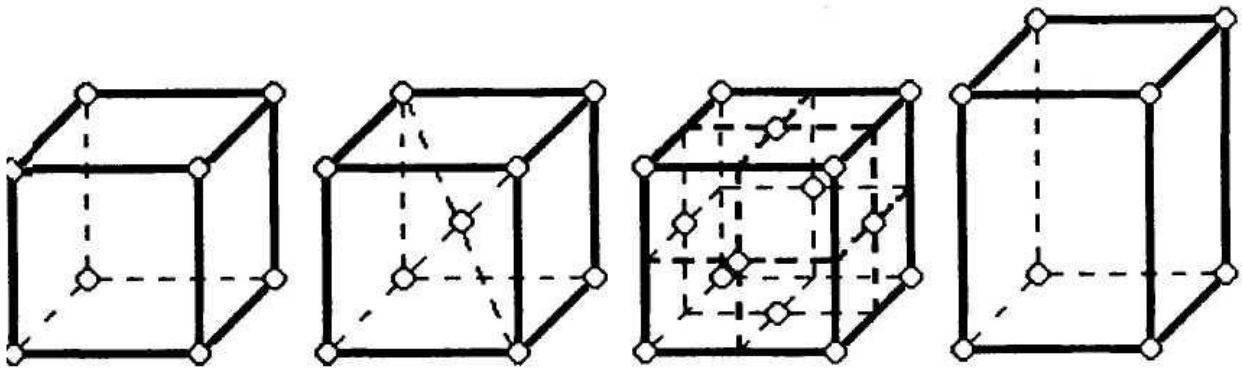
10. Что такое элементарная кристаллическая ячейка?

1) тип кристаллической решетки, характерный для данного химического элемента; 2) минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку; 3) кристаллическая ячейка, содержащая один атом; 4) бездефектная (за исключением точечных дефектов) область кристаллической решетки.

11. Что такое базис кристаллической решетки?

1) минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку; 2) расстояние между соседними одноименными кристаллическими плоскостями; 3) число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома; 4) совокупность значений координат всех атомов, входящих в элементарную ячейку.

12. Какие из представленных на рисунке элементарных ячеек кристаллических решеток относятся к простым (рис. 1.2)?



A *B* *C* *D*

Рис. 1.2. Элементарные ячейки кристаллических решеток

1) *A* и *D*; 2) *B* и *C*); 3) *A* и *C*; 4) *B* и *D*.

13. Сколько атомов принадлежит представленной на рис. 1.3 элементарной ячейке?

14. Какова химическая формула сплава, кристаллическая решетка

которого представлена на рис. 1.4?

1) A_2B; 2) A_8B; 3) A_4B; 4) AB.

15. Как называется свойство, состоящее в способности вещества существовать в различных кристаллических модификациях?

1) полиморфизм; 2) изомерия; 3) анизотропия; 4) текстура.

16. Как называется характеристика кристаллической решетки, определяющая число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома?

1) базис решетки; 2) параметр решетки; 3) коэффициент упаковки;

4) координационное число.

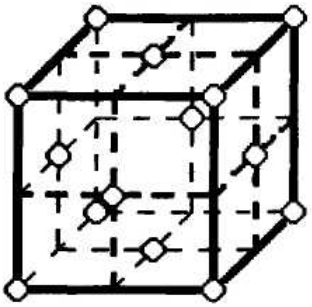


Рис. 1.3. Кристаллическая решетка сплава

○ - компонент A; ● - компонент B

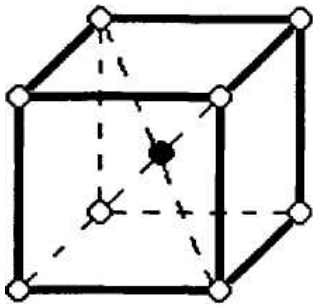


Рис. 1.4. Кристаллическая решетка сплава

○ - компонент A; ● - компонент B

1) 8; 2) 6; 3) 4; 4) 14.

17. Какое из изменений характеристик кристаллической решетки приведет к росту плотности вещества?

1) увеличение параметров решетки; 2) уменьшение количества пор в элементарной ячейке; 3) увеличение числа атомов в ячейке; 4) увеличение координационного числа.

18. Как называется характеристика кристаллической решетки, определяющая отношение объема атомов, приходящихся на элементарную ячейку, к объему ячейки?

1) коэффициент упаковки; 2) координационное число; 3) базис решетки; 4) параметр решетки.

19. Как называется явление, заключающееся в неоднородности свойств материала в различных кристаллографических направлениях?

1) изотропия; 2) анизотропия; 3) текстура; 4) полиморфизм.

20. Какие тела обладают анизотропией?

1) текстурованные поликристаллические материалы; 2) ферромагнитные материалы; 3) поликристаллические вещества; 4) аморфные материалы.

21. Какие тела обладают анизотропией?

1) парамагнетики; 2) монокристаллы; 3) вещества, обладающие полиморфизмом; 4) переохлажденные жидкости.

22. Каким является дефект кристаллической структуры представленного на рис. 1.5 фрагмента кристаллической решетки?

1) точечный; 2) линейный; 3) поверхностный; 4) объемный.

23. Какую группу дефектов представляют собой искажения, охватывающие области в радиусе 6 – 7 периодов кристаллической решетки?

1) поверхностные; 2) объемные; 3) точечные; 4) линейные.

24. Как называется дефект, вызванный отсутствием атома в узле кристаллической решетки?

1) дислокация; 2) пора; 3) вакансия; 4) междоузельный атом.

25. Какого рода дефект кристаллической структуры представлен на рис. 1.6?

1) примесный атом внедрения; 2) междоузельный атом; 3) примесный атом замещения; 4) вакансия.

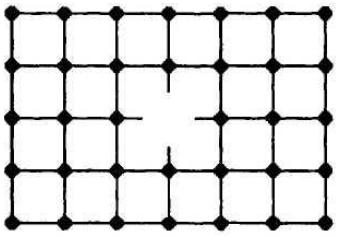


Рис. 1.5. Фрагмент кристаллической решетки

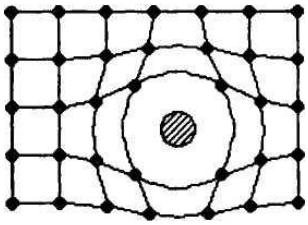


Рис. 1.6. Фрагмент кристаллической решетки

26. Как называется элемент кристаллической структуры, помеченный на рис. 1.7 знаком вопроса?

1) плоскость скольжения; 2) краевая дислокация; 3) цепочка междоузельных атомов; 4) экстраплоскость.

27. Как называются дефекты, измеряемые в двух направлениях несколькими периодами, а в третьем – десятками и сотнями тысяч периодов кристаллической решетки?

1) междоузельные атомы; 2) поверхностные дефекты; 3) дислокации; 4) микротрещины.

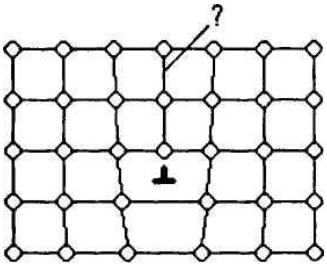


Рис. 1.7. Фрагмент кристаллической структуры

28. Что такое экстраплоскость?

1) плоскость раздела фрагментов зерна или блоков мозаичной структуры; 2) поверхностный дефект кристаллической решетки; 3) атомная полуплоскость, не имеющая продолжения в нижней или верхней частях кристаллической решетки; 4) атомная плоскость, по которой происходит скольжение одной части кристалла относительно другой.

29. Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстраплоскости?

1) винтовая дислокация; 2) цепочка вакансий; 3) краевая дислокация; 4) микротрещина.

30. По какому признаку классифицируются дефекты кристаллического строения?

1) физическому; 2) химическому; 3) геометрическому; 4) алгебраическому.

1.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Ошибаетесь. Вы нечетко уяснили понятие базиса. Разве все 14 атомов принадлежат только одной ячейке?

2) Ошибаетесь.

3) Правильно. К одной ячейке каждый атом в вершинах куба принадлежит на 1/8, атом в каждой грани – на ½. Тогда базис будет равен $⅛ \cdot 8 + ½ \cdot 6 = 4$.

2. Так как в ячейке ОЦК базис равен двум, то атомы *A* в химическом соединении могут занять вершины куба: $⅛ \cdot 8 = 1$; атом *B* будет в центре куба или наоборот.

3. В телах с ионной связью отсутствуют свободные электроны.

4. Чтобы произошла деформация, нужно разрушить связь, обеспечиваемую электронными мостиками между соседними атомами в кристалле алмаза. Это значит, что кристалл разрушится и деформация невозможна.

5. Наличие свободных электронов («электронного газа») создает возможность их направленного движения под влиянием приложенного напряжения, что и представляет собой электропроводность.

6. Кристалл на рис. 1.2 следует представить так, что в узлах решетки расположены положительные ионы металла, все пространство между которыми занимают коллективизированные валентные электроны, каждый из которых не принадлежит никакому конкретному иону и может находиться в разное время в разных местах. Если произвести сдвиг в кристалле по плоскости, где находится, например, ион 1, слева направо на один период решетки, то произойдет смена соседей у ионов, а качество «электронного газа» не претерпит никаких изменений, обеспечивая по-прежнему связь между электронами и ионами. Поэтому при деформировании металлы

проявляют пластичность.

7. 1). Ошибаетесь. Частицы движутся хаотично, поэтому количество толчков от них лопатки турбины получают со всех сторон примерно поровну и турбина вращаться не может. Таким образом, наличие энергии еще не есть возможность выполнить работу. Энергия должна использоваться направленно.

2) Правильно.

8. 1) Правильно.

2) Ошибаетесь.

9. Учитывая, что атомы непрерывно движутся, можно представить, что от края экстраплоскости происходит отток атомов, или наоборот. Это значит, что дислокация перемещается в новые кристаллографические плоскости. Что касается перерождения дефектов, то можно представить превращение вакансии в дислокацию или в раковины, если от вакансии происходит отток атомов. В принципе дислокация может превращаться в серию вакансий, если к краю экстраплоскости поступают атомы из других участков кристалла. Как видно, все эти перерождения сильно зависят от диффузионной подвижности атомов и поэтому усиливаются с ростом температуры. Естественно, что на материал действуют и другие факторы: нагрузка, поверхностно-активные среды и т. д.

10. 1) Неверно. Тип кристаллической решетки сам по себе определяется типом ее элементарной ячейки.

2) Правильно.

3) Неверно. Элементарные ячейки могут содержать многие десятки атомов.

4) Неверно. Бездефектные области кристаллов обычно составляют блоки мозаичной структуры.

11. 1) Неверно. Такую часть кристаллической решетки называют элементарной кристаллической ячейкой.

2) Неверно. Расстояние между соседними одноименными плоскостями называют межплоскостным расстоянием.

3) Неверно. Число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома, называют координационным числом.

4) Правильно.

12. 1) Правильно.

2) Неверно. В обеих ячейках атомы занимают места не только в вершинах куба, но и в центре ячейки (*B*) либо в центре каждой грани (*C*).

3) Неверно. В ячейке *C* атомы расположены не только в вершинах куба, но также и в центре каждой грани.

4) Неверно. В ячейке *B* атомы расположены не только в вершинах куба, но также и внутри ячейки.

13. 1) Неверно. Каждый из атомов, лежащих на гранях куба, принадлежит, кроме данной ячейки, еще одной, а в вершинах куба - еще семи соседним ячейкам.

2) Неверно. Каждый из атомов, лежащих на гранях куба, принадлежит, кроме данной ячейки, еще одной, а в вершинах куба еще семи соседним ячейкам.

3) Правильно.

4) Неверно. Каждый из атомов, лежащих на гранях куба, принадлежит, кроме данной ячейки, еще одной, а в вершинах куба - еще семи соседним ячейкам.

14. 1) Неверно. Каждый из атомов, лежащих в вершинах куба, принадлежит восьми элементарным ячейкам.

2) Неверно. Каждый из атомов, лежащих в вершинах куба, принадлежит восьми элементарным ячейкам.

3) Неверно. Каждый из атомов, лежащих в вершинах куба, принадлежит восьми элементарным ячейкам.

4) Правильно.

15. 1) Правильно.

2) Неверно. Изомерия заключается в существовании соединений, главным образом органических, одинаковых по составу, но различающихся по расположению атомов в пространстве.

3) Неверно. Анизотропия - это явление, состоящее в неоднородности свойств материала в различных направлениях.

4) Неверно. Текстура - это преимущественная ориентация элементов структуры материала. Например, закономерная ориентация кристаллитов относительно внешних деформирующих материал сил получила название текстуры деформации.

16. 1) Неверно. Базис - это таблица значений координат всех атомов, входящих в элементарную ячейку.

2) Неверно. Параметры решетки - это совокупность значений длин ребер элементарной ячейки и величин углов между ними.

3) Неверно. Коэффициент компактности - это характеристика, определяющая отношение объема атомов, входящих в элементарную ячейку, к объему ячейки.

4) Правильно.

17. 1) Неверно. Рост параметра решетки (при сохранении ее типа, например при нагреве) приведет к увеличению ее объема и снижению плотности вещества.

2) Неверно. Уменьшение количества пор в ячейке не означает снижение их общего объема. Например, кристаллическая решетка *К*8 (много мелких пор) по компактности занимает промежуточное положение между *К*6 и *К*12, имеющих меньшее количество пор.

3) Неверно. К примеру, решетки Г12 (6 атомов на ячейку) и *К*12 (4 атома на ячейку) компактны одинаково.

4) Правильно.

18 1) Правильно.

2) Неверно. Координационное число - это число атомов, находящихся на наименьшем равном расстоянии от любого данного атома.

3) Неверно. Базис представляет собой совокупность координат

4) Неверно. Параметры решетки - это совокупность значений длин ребер элементарной ячейки и величин углов между ними.

19. 1) Неверно. Изотропность (изотропия) состоит в одинаковости свойств материала во всех направлениях.

2) Правильно.

3) Неверно. Текстура состоит в преимущественной ориентации структуры материала.

4) Неверно. Полиморфизм - это способность материала существовать в различных кристаллических модификациях.

20. 1) Правильно.

2) Неверно. Магнитные свойства определяются электронным строением вещества. Ферромагнитными могут быть и изотропные материалы, например металлические стекла.

3) Неверно. Поскольку в поликристаллических веществах кристаллические решетки в различных зернах ориентированы по-разному, свойства тела во всех направлениях усредняются. Тело становится изотропным (квазиизотропным).

4) Неверно. Аморфные материалы изотропны.

21. 1) Неверно. Магнитные свойства материалов (диамагнетизм, парамагнетизм и т. д.) определяются электронным строением атомов (тонкой структурой). Анизотропия же - свойство, проявляющееся на уровне микроструктуры.

2) Правильно.

3) Неверно. Полиморфизм - это способность вещества иметь различные типы кристаллических решеток. Анизотропия может проявляться и в веществах, не обладающих таким свойством.

4) Неверно. Переохлажденные жидкости, как и всякие жидкости, за исключением жидких кристаллов, аморфны. Такие структуры изотропны.

22. 1) Правильно.

2) Неверно. Такие дефекты предполагают наличие экстраплоскости, либо плоскости, изогнутой по винтовой поверхности.

3) Неверно. Поверхностные дефекты представляют собой дислокационные стенки, либо переходные области между кристаллическими решетками различных ориентации.

4) Неверно. Объемные дефекты имеют протяженность во всех направлениях на многие периоды кристаллической решетки.

23. 1) Неверно. Поверхностные дефекты имеют размеры в одном направлении несколько периодов, а в двух других - десятки и сотни тысяч периодов кристаллической решетки.

2) Неверно. Объемные дефекты охватывают области в радиусе

многих десятков, сотен и тысяч периодов кристаллической решетки.

3) Правильно.

4) Неверно. Линейные дефекты простираются в двух направлениях на несколько периодов, а в третьем - на десятки и сотни тысяч периодов кристаллической решетки.

24. 1) Неверно. Дислокации - это линии, измеряемые десятками и сотнями тысяч периодов кристаллической решетки, вдоль и вблизи которых нарушено правильное периодическое расположение атомных плоскостей кристалла.

2) Неверно. Поры - это пустоты, вызванные отсутствием в данной области кристаллической решетки многих атомов.

3) Правильно.

4) Неверно. Междоузельный атом - это дефект, состоящий в местном увеличении периода кристаллической решетки, образующийся в результате перехода атома из узла решетки в междоузлие.

25. 1) Правильно.

2) Неверно. Междоузельные атомы возникают в результате перехода атомов, образующих данное вещество, из узлов кристаллической решетки в междоузельное пространство.

3) Неверно. Примесные атомы замещения заменяют атомы данного вещества в узлах кристаллической решетки.

4) Неверно. Вакансия - это дефект, состоящий в отсутствии атома в узле кристаллической решетки.

26. 1) Неверно. Плоскость скольжения - это плоскость, по которой происходит сдвиг одной части кристалла относительно другой при его деформировании. Представленный элемент структуры существует независимо от того деформируют кристалл или нет.

2) Неверно. Выделенный элемент структуры обусловливает возникновение краевой дислокации, но сам таковой не является.

3) Неверно. Атомы выделенного элемента структуры расположены в узлах кристаллической решетки.

4) Правильно.

27. 1) Неверно. Дефекты строения, вызванные междоузельными атомами, имеют во всех направлениях размеры в несколько периодов кристаллической решетки.

2) Неверно. Поверхностные дефекты имеют размеры в одном направлении несколько периодов, а в двух других - десятки и сотни тысяч периодов кристаллической решетки.

3) Правильно.

4) Неверно. Микротрещины - это объемные дефекты кристаллической структуры. Ширина микротрещины переменна и лишь у устья ее размеры сопоставимы с межатомными.

28. 1) Неверно. Такие плоскости называют малоугловыми границами.

2) Неверно. Поверхностные дефекты кристаллической решетки называют малоугловыми и большеугловыми границами.

3) Правильно.

4) Неверно. Плоскость кристаллической решетки, по которой происходит скольжение одной части кристалла относительно другой, называют плоскость скольжения.

29. 1) Неверно. При наличии винтовой дислокации кристалл как бы состоит из одной атомной плоскости, закрученной в виде винтовой поверхности. Экстраплоскости в этом случае нет.

2) Неверно. Цепочка вакансий прерывает атомную плоскость, но не создает экстраплоскости.

3) Правильно.

4) Неверно. Микротрещина - это объемный дефект. Искажения вдоль края экстраплоскости - линейный дефект кристаллической структуры.

30. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

1.5. Задачи

1.1. Определите координационное число гранецентрированной кубической решетки.

1.2. Определите координационное число гексагональной плотноупакованной решетки.

1.3. Докажите, что угол α (рис. 1.8) между тетраэдрическими связями в алмазе равен $109^{o}28'$.

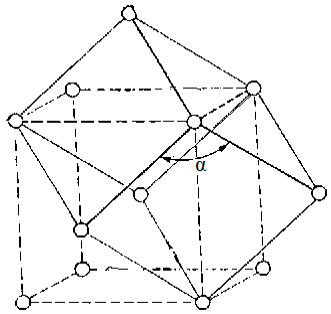


Рис. 1.8. Элементарная решетка алмаза

1.4. Определите коэффициент упаковки гранецентрированной кубической решетки.

1.5. Докажите, что коэффициент упаковки объёмноцентрированной кубической решетки равен 0,68.

1.6. Покажите, что для идеальной гексагональной плотноупакованной решетки отношение c/a $(8/3)^{1/2} = 1{,}633$.

1.7. Докажите, что коэффициент упаковки простой кубической решетки равен 0,52.

1.8. Покажите, что объемноцентрированная кубическая решетка может быть разделена на две простые кубические решетки A и B так, что ни одна пара ближайших соседей исходной решетки не окажется в решетке A (и, соответственно, в решетке B). Показать также, что для соблюдения этого условия простая кубическая решетка должна разделиться на две гранецентрированные решетки, а гранецентрированная, в свою очередь, – на четыре простые кубические решетки.

1.9. Найдите плотноупакованное расположение идентичных бесконечных прямых волокон в круглом поперечном сечении. Определите коэффициент упаковки для этой системы.

1.10. Опишите кристаллические структуры гексагонального ZnO и NiAs. Определите используемую кристаллическую решетку и базис.

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

2.1. Методические указания

Механические свойства характеризуют сопротивление материала деформации, разрушению или особенностям его поведения в процессе разрушения. Эта группа свойств объединяет показатели прочности, пластичности, твердости, вязкости и упругости. Основную группу таких показателей составляют стандартные характеристики механических свойств, которые определяют в лабораторных условиях на образцах стандартных размеров.

Изучите основные методы исследования механических свойств металлов и физический смысл характеристик, определяемых при разных методах испытания. Важно понять, что все эти характеристики определяются структурой материала, его способностью к пластическому деформированию. Уясните связь между основными характеристиками, строением и механическими свойствами. Разберитесь в сущности явления наклепа и его практическом использовании.

Поскольку процесс пластической деформации протекает путем образования и перемещения дислокаций, то большое значение имеет то, насколько легко могут эти дислокаций перемещаться в пределах зерна. Оценка стандартных механических свойств сопровождается разрушением специальных образцов и не позволяет изучить прочностные свойства конкретных деталей на конечном этапе изготовления. Поэтому большое значение имеют неразрушающие методы оценки прочностных свойств. К ним относят различные способы измерения твердости.

Разрушение необходимо рассматривать как двухстадийный процесс:

зарождения и распространения трещины, а конструктивную прочность - как комплекс свойств материала. Следует установить связь прочностных и пластических характеристик со структурным состоянием материала. Необходимо разобраться, что понимается под хрупким и вязким разрушением.

2.2. Краткие теоретические сведения

Материал при приложении к нему внешних сил деформируется. *Деформация* - изменение формы и размеров тела под действием внешних или внутренних сил. Деформация может быть упругой и пластической.

Упругой называется деформация, если после прекращения действия вызвавших ее сил тело сохраняет первоначальные форму и размеры. В этом случае атомы под действием сил притяжения и отталкивания возвращаются в первоначальное положение равновесия (рис. 2.1).

Пластической называется деформация, если после прекращения действия вызвавших ее сил тело приобретает новые форму и размеры. В этом случае атомы под действием сил притяжения и отталкивания переходят в новое ближайшее положение равновесия, вследствие чего деформация становится необратимой (см. рис. 2.1).

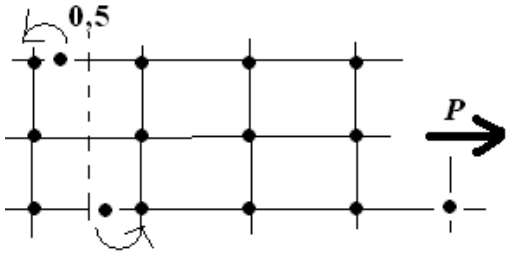


Рис. 2.1. Схема механизма деформации

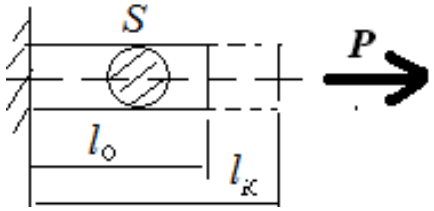


Рис. 2.2. Схема растяжения образца

Механическими называют свойства материала, определяющие его сопротивление действию внешних механических нагрузок.

Относительная деформация (ε) - это отношение удлинения (Δl) образца к его первоначальной длине (l_0) и является безразмерной величиной, или после умножения на 100 % измеряется в процентах.

Относительное сужение ψ определяется аналогично

$$\varepsilon = \frac{(l_к - l_о)}{l_о} = \frac{\Delta l}{l_о}, \qquad \psi = \frac{S_о - S_к}{F_о} 100 \ \ \%,$$

где $l_о$, $S_о$ и $l_к$, $S_к$ - начальная и конечная длина и площадь поперечного сечения образца соответственно (рис. 2.2).

Напряжение – сила, действующая на единицу площади сечения образца $\sigma = P/F$ [Па].

Диаграмма деформации – изменение размеров образца под действием приложенной силы в координатах σ – ε (рис. 2.3).

Участок *OA* на диаграмме деформации соответствует упругой деформации. *Предел пропорциональности* ($\sigma_{пц}$) – напряжение, соответствующее окончанию упругой деформации. С дальнейшим увеличением нагрузки начинается пластическая деформация.

Зависимость между упругой деформацией ε и напряжением σ выражается законом Гука

$$\sigma = \varepsilon E ,$$

где: E - модуль упругости.

Модуль упругости является важнейшей характеристикой упругих свойств материала и рассматривается как мера прочности связей между атомами в твердом теле.

Точка *B* соответствует *временному сопротивлению разрыва* или пределу *прочности* $\sigma_в$, т. е. наибольшему напряжению, которое может выдержать материал до разрушения (см. рис. 2.3).

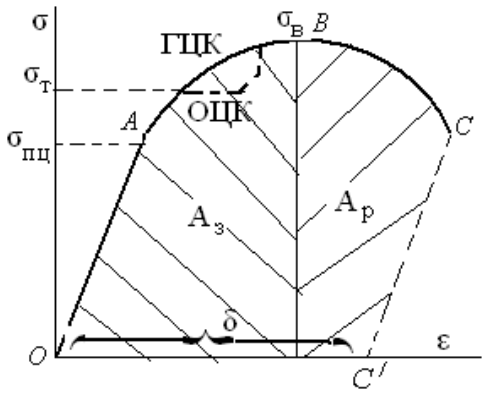


Рис. 2.3. Диаграмма деформации

Гладкая диаграмма соответствует материалам с ГЦК решеткой. В случае материала с ОЦК решеткой диаграмма несколько изменяется. На ней образуется площадка текучести, т. е. напряжение не изменяется, а размеры образца изменяется, как бы текут (см. рис. 2.3).

$\sigma_т$ – *физический предел текучести* или *напряжение течения* соответствует образованию площадки текучести на диаграмме деформации.

Для материалов, не имеющих площадку текучести, используют *условный предел текучести* ($\sigma_{0,2}$), т. е. это напряжение, вызывающее остаточную деформацию ε = 0,2 %.

Поэтому в зависимости от структуры материала используют физический или условный предел текучести.

Отрезок OC', отсекаемый на оси абсцисс (δ) – пластичность, т. е. наибольшая величина относительной деформации, которую может выдержать материал до разрушения.

Процесс деформации при достижении высоких напряжений завершается разрушением. Точка *C* соответствует разрушению образца.

Тело разрушаются по сечению не одновременно, а вследствие развития трещин. Разрушение включает две стадии: зарождение трещины и ее рост.

Площадь диаграммы деформации соответствует работе, которую необходимо совершить для разрушения образца:

$$A = A_З + A_Р ,$$

где $A_З$ и $A_Р$ соответственно работа необходимая для зарождения трещины и ее дальнейшего роста.

Для хрупкого разрушения характерна острая, часто ветвящаяся трещина. Величина зоны пластической деформации в устье трещины мала. Скорость распространения хрупкой трещины близка к скорости звука в данном материале.

Вязкому разрушению всегда предшествует значительная пластическая деформация. Для него характерна тупая раскрывающаяся трещина.

Характер разрушения зависит от многих факторов: материала, температуры, скорости деформации и т. д. Температура $T_К$, при которой происходит смена механизмов деформации называется критической температурой или *порогом хладноломкости*. *Хладноломкость* определяет влияние снижения температуры на склонность материала к хрупкому разрушению.

На порог хладноломкости оказывают влияние величина зерна, химический состав, размеры изделия, концентраторы напряжений, скорость нагружения и т. д. Для эксплуатации в северных условиях необходимы детали из сталей с низким порогом хладноломкости – северного исполнения. Снижение порога хладноломкости достигается легированием стали никелем.

Твердость – это свойство материала оказывать сопротивление пластическим деформациям при контактном воздействии в поверхностном слое.

Наиболее распространенные методы определения твердости связаны с внедрением в испытуемый материал специального тела, называемого *индентором,* с таким усилием, чтобы произошла пластическая деформация. Это методы определения твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

Поскольку твердость является прочностным свойством, то между твердостью и временным сопротивлением разрыву (пределом прочности) существует связь:

$$\sigma_В = kH,$$

где k – коэффициент, зависящий от вида материала и метода измерения твердости; H – твердость.

Ударная вязкость определяет надежность материала, его способность

сопротивляться разрушению при динамических нагрузках. Ее определяют как удельную работу разрушения призматического образца с концентратором (надрезом) посередине одним ударом маятникового копра:

$$KC = A/S,$$

где S – площадь поперечного сечения в месте надреза; A – работа разрушения образца.

Ударную вязкость обозначает *KCV, KCU, KCT*. *KC* – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (*V*), с радиусом закругления (*U*), трещина (*T*).

Наклеп – повышение прочности материала под действием холодной пластической деформации.

Конструктивную прочность материала характеризует комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации. Конструктивная прочность определяется критериями прочности, надежности и долговечности.

На свойства металлов большое влияние оказывает их дислокационная структура. При деформации возрастает число дефектов кристаллической структуры, в частности плотность дислокаций, и именно поэтому прочность образца увеличивается, а его пластичность уменьшается (рис. 2.4).

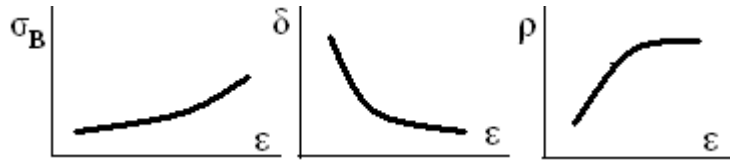


Рис. 2.4. Влияние деформации на структуру и свойства материала

К критериям прочности при статических нагрузках относят предел текучести $\sigma_т$ или $\sigma_{0,2}$. В некоторых случаях имеют значение удельные характеристики, критерии жаропрочности.

Жаропрочные материалы характеризуются длительной прочностью и ползучестью. *Предел длительной прочности* – напряжение, вызывающее разрушение материала при заданной температуре за определенное время.

Предел ползучести – напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при заданной температуре.

Надежность – способность материала противостоять разрушению. Важными критериями надежности являются пластичность (относительное удлинение ε, относительное сужение ψ), вязкость разрушения K_{1c}, ударная вязкость (*KCV, KCV, KCT*), хладноломкость.

ε и ψ характеризуют изменения геометрических параметров стандартных образцов при напряжении, вызывающем разрушение. K_{1c} показывает, какой интенсивности достигает напряжение вблизи вершины

трещины в момент разрушения.

Ударная вязкость – это сопротивление разрушению при динамических нагрузках.

Долговечность – способность материала детали сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая ее работоспособность в течение заданного времени.

Одним из критериев долговечности является выносливость. *Выносливость* – способность материала сопротивляться усталости. У*сталость* – процесс накопления повреждений под действием циклически повторяющихся нагрузок. Выносливость зависит от живучести, определяющей продолжительность работы детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости (размером 0,5 - 1,0 мм) до разрушения.

2.3. Вопросы

1. Медь имеет решетку ГЦК а цинк – ГПУ. Какой из этих материалов пластичней?

2. Почему растет плотность дислокаций при пластической деформации?

3. Металлы с каким типом решетки наиболее упрочняемы наклепом?

4. Какой из металлов, железо или медь, более пригоден для изготовления нагруженных деталей машин. Почему вы так думаете?

5. Стальная проволока для тросов производится методом холодной вытяжки. Чем объясняется высокая прочность тросов?

6. Как можно оценивать явление наклепа металла с точки зрения машиностроителей?

1) положительно; 2) отрицательно.

7. Как следует оценивать дефекты типа дислокаций с точки зрения влияния на свойства металлов?

эти дефекты свойства металлов: 1) ухудшают; 2) улучшают; 3) категорически ответить на этот вопрос нельзя, так как в ряде случаев эти дефекты улучшают свойства материалов, в других ситуациях – ухудшают.

8. Учитывая явление анизотропии, подумайте, будут ли все зерна в структуре образца при напряжениях $\sigma < \sigma_{пц}$ деформироваться только упруго?

9. Из рис. 2.3 видно, что деформация, когда напряжение достигло значения $\sigma_в$, происходит при понижающих напряжениях. Подумайте, значит ли это, что действительное сопротивление материала деформированию начиная от $\sigma_в$ уменьшается.

Для полухрупких материалов диаграмма растяжения представляется участком *OAB*.

10. В чем особенность диаграммы растяжения для хрупкого материала.

диаграмма растяжения: 1) не имеет максимума; 2) короче; 3) представляется только прямолинейным участком, характеризующим

зависимость упругой деформации от напряжения.

11. Чем можно объяснить отсутствие связи между твердостью и пределом прочности на разрыв хрупких материалов. (За основу следует взять физическую сущность этих характеристик материала.)

1) различными условиями напряженного состояния при этих методах испытания материала; 2) для хрупких материалов предел прочности характеризует совершенно отличное по характеру свойство материала – сопротивление разрушению, а не сопротивление пластическим деформациям.

12. Подумайте, как должно влиять на сопротивление ползучести увеличение предела текучести $\sigma_т$ материала.

13. Решите, при каком виде нагружения (изгибе или растяжении) наиболее вероятно ожидать хрупкого разрушения деталей?

14. При выборе материала расчетной характеристикой является предел текучести, чем обеспечивается недеформируемость детали. Какие дополнительные испытания необходимо провести, чтобы была обеспечена надежность детали в работе?

15. Какое свойство материала характеризует его сопротивление упругому и пластическому деформированию при вдавливании в него другого, более твердого тела?

1) выносливость. 2) прочность. 3) упругость. 4) твердость.

16. При испытании на растяжение образец нагрузили до напряжения *R* после чего нагрузку сняли. Какова величина относительного удлинения образца (рис. 2.5)?

1) 6 %; 2) 4 %; 3) 3 %; 4) 8 %.

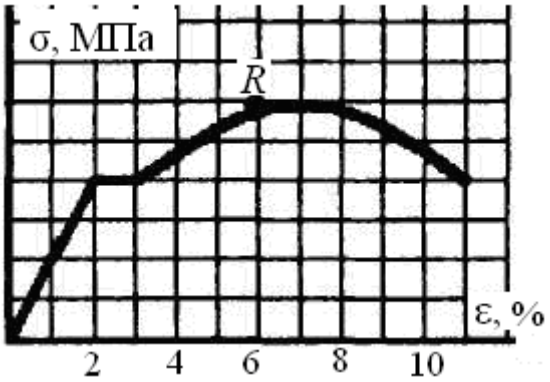


Рис. 2.5. Результаты испытания образца

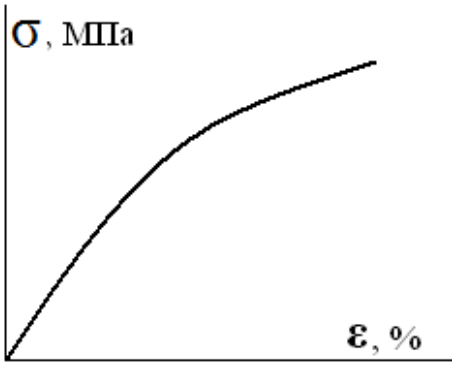


Рис. 2.6. Диаграмма деформации

17. На рис. 2.6 изображена диаграмма деформации для условных напряжений. Поведение каких металлов она отражает? σ ε

1) пластичных; 2) она может принадлежать любому металлу; 3) металлы не могут иметь такую диаграмму. Это неметаллический материал; 4) хрупких.

18. Вдоль какой плоскости ГЦК решетки легче всего происходит

скольжение?

1) (111); 2) (100); 3) (200); 4)(110).

19. Какие факторы строения реальных кристаллов вызывают пластические деформации при напряжениях меньших, чем рассчитанные для идеальной модели кристаллической решетки?

1) точечные дефекты; 2) дислокации; 3) поверхностные дефекты; 4) дефекты кристаллического строения.

20. При каком виде излома в зоне разрушения хорошо просматриваются форма и размер зерен?

1) при транскристаллитном; 2) при хрупком; 3) при вязком; 4) при усталостном.

21. При каком виде излома в области разрушения видны две зоны (предварительного разрушения и долома)?

1) при интеркристаллитном; 2) при усталостном; 3) при транскристаллитном; 4) при вязком.

22. Как называется механическое свойство, определяющее способность металла сопротивляться деформации и разрушению при статическом нагружении?

1) прочность; 2) вязкость разрушения; 3) ударная вязкость; 4) живучесть.

23. Что называют конструктивной прочностью материала?

1) способность противостоять усталости. 2) способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины. 3) способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени. 4) комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации.

24. Какое свойство материала называют надежностью?

1) способность противостоять усталости; 2) способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины; 3) способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени; 4) способность противостоять хрупкому разрушению.

25. Какое свойство материала называют долговечностью?

1) способность оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию; 2) способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени; 3) способность противостоять хрупкому разрушению; 4) способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины.

26. Какое свойство материала называют выносливостью?

1) способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени; 2) способность противостоять усталости; 3) способность работать в

поврежденном состоянии после образования трещины; 4) способность противостоять хрупкому разрушению.

27. Что такое живучесть?

1) продолжительность работы детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0,5 - 1,0 мм до разрушения; 2) способность сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени; 3) способность материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию; 4) способность противостоять хрупкому разрушению.

28. Что такое порог хладноломкости?

1) максимальная ударная вязкость при температурах хрупкого состояния; 2) максимальная прочность при температурах хрупкого состояния; 3) относительное снижение ударной вязкости при переходе из вязкого состояния в хрупкое; 4) температура перехода в хрупкое состояние.

29. Как влияет поверхностное упрочнение на чувствительность металла к концентраторам напряжений?

1) не влияет на чувствительность; 2) характер влияния зависит от вида упрочнения; 3) понижает чувствительность; 4) повышает чувствительность.

30. Что такое длительная прочность?

1) напряжение, вызывающее разрушение при определенной температуре за данный отрезок времени; 2) свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, обеспечивая работоспособность детали в течение заданного времени; 3) долговечность детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости до разрушения; 4) напряжение, вызывающее заданную скорость деформации при данной температуре.

2.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. Так как цинк имеет решетку ГПУ, а медь – ГЦК, то медь более пластична, чем цинк (у меди больше систем скольжения).

2. За счет работы источника Франка-Рида.

3. Наиболее упрочняемые металлы, кристаллическая решетка которых имеет большое количество систем скольжения, т. е. Г Ц К.

4. Железо – переходный, а медь – простой металл. Железо является более прочным, так как связь между ионами железа осуществляется не только *s*-электронами, но и частью электронов *d*-орбитали.

5. Холодная вытяжка проволок для тросов приводит к их упрочнению наклепом. Поэтому трос имеет очень высокую прочность

6. 1) Вы слишком категоричны. Например, при изготовлении деталей методом холодной вытяжки наклеп, упрочняющий материал, – явление

вредное (требуется больше затратить работы).

2) Такой ответ не всегда правильный. Например, возможность упрочнения материала наклепом позволяет уменьшить массу детали. В этом случае наклеп – явление полезное.

7. 1) Такой ответ нельзя считать правильным всегда. Например, при изготовлении деталей пластической деформацией дислокации следует читать полезными.

2) Ответ нельзя считать правильным в любом случае. Так, дислокации облегчают деформацию детали под нагрузкой, что практически нежелательно.

3) Правильно. Подход должен быть диалектическим с учетом реальной потребности.

8. Так как отдельные кристаллы по-разному ориентированы, то в них может происходить пластическая деформация, когда среднее напряжение, действующее на деталь, меньше $\sigma_{пц}$.

9. Уменьшение напряжения, необходимого для деформирования в условиях развития шейки по диаграмме $\delta = f(\sigma)$, связано с особенностями вычисления напряжения делением действующей силы $P_в$ на площадь поперечного сечения образца F_0 в исходном состоянии. Но так как сечение образца при пластической деформации уменьшается, особенно при развитии шейки, то истинные напряжения, необходимые для деформирования, все время возрастают.

10. 1) Ответ далеко не точный. Подумайте, что показывает участок *AB* диаграммы растяжения на рис. 2.3.

2) Ответ неточный.

3) Правильно. Для абсолютно хрупкого материала возможна только упругая деформация и диаграмма растяжения имела бы только участок АО.

11. 1) Неправильно. Продумайте суть процессов, происходящих в пластичном материале при вдавливании индентора. Может ли это быть у хрупкого материала?

2) Правильно.

12. Так как $\sigma_т$ характеризует сопротивление перемещению дислокаций, т. е. пластической деформации, то увеличение предела текучести от материала увеличивает сопротивление ползучести.

13. Так как при растяжении $\alpha = \tau_{max}/\sigma_{max} = 0{,}5$, то при этом виде нагружения нормальные напряжения максимальны, что содействует хрупкому разрушению.

14. Для обеспечения надежности нужно для предполагаемых к использованию материалов определить значение $a_р$ или температурные пороги хладноломкости.

15. 1) Неверно. Выносливостью называют способность материала противостоять усталости.

2) Неверно. Прочностью называют способность материала сопротивляться деформации и разрушению.

3) Неверно. Упругостью называют способность материала обратимо деформироваться под действием приложенной нагрузки.

4) Правильно.

16. 1) Неверно. В ответе не учтена упругая деформация образца.

2) Неверно. В ответе не точно определена величина упругой деформации.

3) Правильно.

4) Неверно.

17. 1) Неверно. При растяжении пластичных образцов перед разрушением деформация сосредоточивается в одной зоне, что приводит к появлению на диаграмме ниспадающего участка.

2) Неверно. При растяжении пластичных образцов перед разрушением деформация сосредоточивается в одной зоне, что приводит к появлению на диаграмме ниспадающего участка.

3) Неверно.

4) Правильно.

разрушения сильно искажены.

18. 1) Правильно.

2) Неверно. Сдвиг одной части кристалла относительно другой легче всего протекает по плоскостям с наиболее плотным расположением атомов. Эта плоскость таковой не является.

3) Неверно. Сдвиг одной части кристалла относительно другой легче всего протекает по плоскостям с наиболее плотным расположением атомов. Эта плоскость таковой не является.

4) Неверно. Сдвиг одной части кристалла относительно другой легче всего протекает по плоскостям с наиболее плотным расположением атомов. Эта плоскость таковой не является.

19. 1) Конечно, эти дефекты оказывают некоторое разупрочняющее действие, но не они, в этом смысле, наиболее эффективны.

2) Правильно.

3) Конечно, эти дефекты оказывают некоторое разупрочняющее действие, но не они, в этом смысле, наиболее эффективны.

4) Безусловно, дефекты кристаллического строения оказывают разупрочняющее действие. Но какой вид дефектов, в этом смысле, наиболее эффективен?

20. 1) Форма и размер зерен в зоне излома при транскристаллитном разрушении могут быть как искаженными, так и ненарушенными.

2) Правильно

3) Неверно. При вязком изломе форма и размер зерен в зоне разрушения сильно искажены.

4) Усталостный излом имеет две зоны: зону предварительного

разрушения (в ней зерна сильно искажены) и зону долома, в которой форма и размер зерен не нарушены.

21. 1) Неверно. При интеркристаллитном разрушении в зоне излома хорошо просматриваются форма и размер зерен.

2) Правильно

3) Форма и размер зерен в зоне излома при транскристаллитном разрушении могут быть как искаженными, так и ненарушенными.

4) Неверно. При вязком изломе форма и размер зерен в зоне разрушения сильно искажены.

22. 1) Правильно.

2) Неверно. Вязкость разрушения характеризует сопротивление материала распространению вязкой трещины.

3) Неверно. Ударная вязкость характеризует сопротивление материала разрушению при динамических нагрузках.

4) Неверно. Под живучестью понимают долговечность детали от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером 0,5 - 1,0 мм до окончательного разрушения.

23. 1) Неверно. Способность материала противостоять усталости называют выносливостью.

2) Неверно. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины определяет живучесть материала.

3) Неверно. Такое свойство материала называют долговечностью.

4) Правильно.

24. 1) Неверно. Способность материала противостоять усталости называют выносливостью.

2) Неверно. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины определяет живучесть материала.

3) Неверно. Такое свойство материала называют долговечностью.

4) Правильно.

25. 1) Неверно. Такое свойство материала называют износостойкостью.

2) Правильно.

3) Неверно. Способность материала противостоять хрупкому разрушению называют надежностью.

4) Неверно. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины определяет живучесть материала.

26. 1) Неверно. Такое свойство материала называют долговечностью.

2) Правильно.

3) Неверно. Способность работать в поврежденном состоянии после образования трещины определяет живучесть материала.

4) Неверно. Способность материала противостоять хрупкому разрушению называется надежностью.

27. 1) Правильно.

2) Неверно. Такое свойство материала называют долговечностью.

3) Неверно. Такое свойство материала называют износостойкостью.

4) Неверно. Способность материала противостоять хрупкому разрушению называют надежностью.

28. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

29. 1) Неверно. Влияние концентраторов сказывается в основном при растягивающих напряжениях при знакопеременном изгибающем нагружении. Поверхностное упрочнение создает на поверхности напряжения сжатия, снимающие часть внешней нагрузки.

2) Неверно. От вида упрочнения зависят лишь количественные характеристики. Направление же влияния для всех видов упрочнения постоянно.

3) Правильно.

4) Неверно. Влияние концентраторов сказывается в основном при растягивающих напряжениях при знакопеременном изгибающем нагружении. Поверхностное упрочнение создает на поверхности напряжения сжатия, снимающие часть внешней нагрузки.

30. 1) Правильно.

2) Неверно. Такое свойство материала называют долговечностью.

3) Неверно. Такую характеристику материалов называют живучестью.

4) Неверно. Такую характеристику называют пределом ползучести.

2.5. Задачи

При решении задач этого и последующих разделов, следует воспользоваться данными приложений.

2.1. Дайте определение физического $\sigma_т$ и условного $\sigma_{0,2}$ пределов текучести. В каких случаях определяется та или иная прочностная характеристика?

2.2. Твёрдость малоуглеродистой стали равна 180 НВ. Чему примерно равен предел прочности этой стали? Как можно, используя эту информацию, определить марку стали по ГОСТ 1050 - 88?

2.3. Какие прочностные свойства металла определяют при испытании растяжением? В чем различие при обработке результатов испытания образцов из низко - и высокоуглеродистой стали?

2.4. Какие пластические свойства металла определяют при испытании растяжением? Как влияют абсолютные размеры образцов на численные значения характеристик пластичности? Обоснуйте свою точку зрения.

2.5. Какая из приведённых диаграмм деформации (рис. 2.7) соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала, по

Вашему мнению, целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения, сжатия, интенсивного изнашивания?

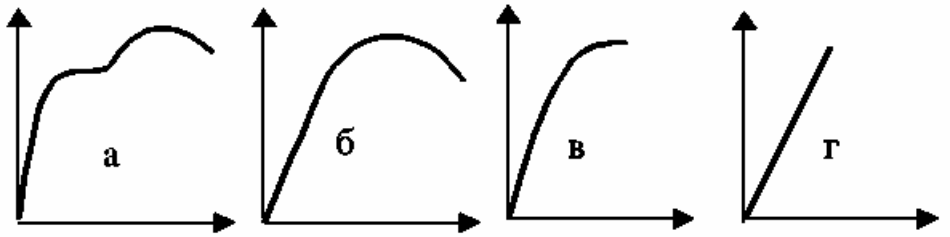


Рис. 2.7. Диаграммы деформации материалов

№ 2.6. Твердость образца *A* равна 800 НВ, а твердость образца *B* – 80 HR. Какой материал тверже и почему?

2.7. Сравните методы измерения твёрдости по Бринеллю и Роквеллу с точки зрения универсальности. Как, имея в распоряжении твердомер, определить примерно прочность отожженной стали?

2.8. Два материала имеют равную прочность, но различную пластичность. Какому из них следует отдать предпочтение с точки зрения надёжности при работе в условиях растяжения?

2.9. При испытании «десятикратных» образцов диаметром 6 мм для малоуглеродистой стали получено относительное удлинение δ_{10} = 20 %. Пересчитайте δ_{10} в δ_5, если известно, что 25 % удлинения «десятикратного» и 40 % - «пятикратного» образца локализовано в шейке, т. е. $\Delta I_{Ш}/\Delta I_{10}$ = 0,25 и $\Delta I_{Ш}/\Delta I_5$ = 0,4.

2.10. При испытании «десятикратных» образцов диаметром 6 мм для среднеуглеродистой стали получено относительное удлинение δ_{10} = 10 %. Пересчитайте δ_{10} в δ_5, если известно, что 30 % удлинения «десятикратного» и 46 % - «пятикратного» образца локализовано в шейке, т. е. $\Delta I_{Ш}/\Delta I_{10}$ = 0,3 и $\Delta I_{Ш}/\Delta I_5$ = 0,46.

2.11. Известно, что при испытании на растяжение одной партии металла у коротких «пятикратных» образцов относительное удлинение δ_5 (%) всегда больше, чем относительное удлинение длинных «десятикратных» образцов δ_{10}. Проводили определение пластичности металла на коротких образцах. Пересчитайте значение δ_5 в δ_{10}, если известна равномерная деформация металла $\delta_{равн.}$ (%) в пределах базовой длины образца.

Пересчет выполнить в предположении, что развитие шейки на обоих видах образцов одинаково. Покажите схематично распределение локальной деформации по базовой длине образца.

Варианты исходных данных для задачи 2.9

Вариант	δ_5	$\delta_{равн.}$		Вариант	δ_5	$\delta_{равн.}$
1	10	6		11	20	12
2	11	7		12	21	12

3	12	8	13	22	14
4	13	8	14	23	15
5	14	9	15	24	16
6	15	9	16	25	17
7	16	10	17	26	18
8	17	10	18	27	19
9	18	11	19	28	20
10	19	11	20	29	21

2.12. Нарисуйте схематично кривые растяжения двух металлов:

а) с одинаковой прочностью, но с разной пластичностью;

б) с одинаковой пластичностью, но с разной прочностью.

В качестве показателя пластичности принять абсолютное удлинение.

2.13. Известно, что при испытании на растяжение одной партии металла у длинных «десятикратных» образцов относительное удлинение δ_{10} (%) всегда меньше, чем относительное удлинение коротких «пятикратных» образцов δ_5. Проводили определение пластичности металла на длинных образцах. Пересчитайте значение δ_{10} в δ_5, если известна равномерная деформация металла $\delta_{равн.}$ (%) в пределах базовой длины образца.

Пересчет выполнить в предположении, что развитие шейки на обоих видах образцов одинаково. Покажите схематично распределение локальной деформации по базовой длине образца.

Варианты исходных данных для задачи 2.14

Вариант	δ_{10}	$\delta_{равн.}$	Вариант	δ_{10}	$\delta_{равн.}$
1	28	20	11	27	18
2	27	19	12	26	17
3	26	18	13	25	16
4	25	17	14	24	15
5	24	16	15	23	14
6	23	15	16	22	13
7	22	14	17	21	12
8	21	13	18	20	11
9	20	12	19	28	21
10	28	19	20	27	20

2.14. Ударная вязкость металла *A* определена на образцах с *U*-образным надрезом; металлов *B* на образцах с *V*-образным надрезом. Оказалось, что ударная вязкость металлов *A* и *B* почти одинаковы. Исходя из этого факта, какой металл надежнее? Докажите свою точку зрения расчетом.

2.15. Из толщиной 15 мм вырезали образцы для испытания ударным изгибом (рис. 2.8). У каких образцов и почему предполагается наибольшая и

наименьшая ударная вязкость?

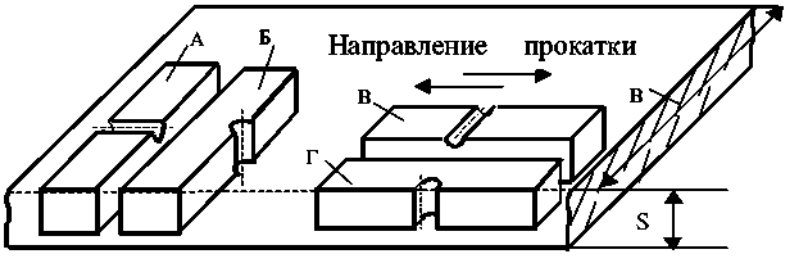


Рис. 2.8. Котельный лист, S = 15 мм; B = 1250 мм

При ответе на вопрос задачи соотнесите направление прокатки металла и направление вырезки образцов.

2.16. Твердость образца равна 1200 НВ. Чему будет равна твердость в единицах HR?

2.17. При выборе материала по справочнику установлено, что ударная вязкость одного материала равна 90 МДж/м^2, другого – 70 МДж/м^2. Подумайте, какой из этих материалов будет более надежен в работе (имеет большее сопротивление хрупкому разрушению).

2.18. Болт изготовлен из стали с $\sigma_в$ = 600 МПа, имеет резьбу с глубиной витка 2 мм и радиусом закругления 0,5 мм. Что будет происходить с болтом, если от действующей нагрузки в нем возникает напряжение $\sigma_{ср}$ = 200 МПа?

2.19. Температурные пороги T_{50} у двух материалов соответственно равны +5 °С и –20 °С. Какой из этих материалов надежней в работе при +20 °С? Ответ: материал, у которого: 1) T_{50} = +5 °С; 2) T_{50} = –20 °С.

2.20. Два материала имеют ударную вязкость *KCV* 0,5 и 0,7 МДж/м^2 соответственно. Какой из этих материалов надежней в работе?

3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

3.1. Методические указания

Переход металла из жидкого состояния в твердое (кристаллизация) совершается в условиях, когда система переходит в термодинамически более устойчивое состояние с меньшей свободной энергией. Для этого перехода необходимо наличие разницы в свободных энергиях твердой и жидкой фаз, причем энергия твердой фазы должна иметь более низкое значение. Процесс кристаллизации начинается с образования зародышей твердой фазы и продолжается в процессе роста их числа и размеров.

Необходимо понимать, что применение чистых металлов в промышленности крайне ограниченно. Их использование не всегда экономически выгодно, а часто и не оправдано, так как они не могут обеспечить требуемый комплекс свойств. Поэтому более перспективным

материалом являются сплавы, которые позволяют реализовать как любое достижимое свойство, так и целую группу требуемых свойств.

Следует четко определять понятия: «термодинамическая система», «свободная энергия системы», «компонент», «фаза», «термодинамическое равновесие системы».

Движущей силой процесса кристаллизации является разница свободных энергий жидкой и твердой фаз, возникающая при переохлаждении расплава ниже равновесной температуры кристаллизации. Конечная структура затвердевшего сплава определяется условиями кристаллизации: скоростью охлаждения. Каждое зерно, образующееся в результате кристаллизации, представляет собой дендритный кристалл, химический состав которого изменяется от центра к периферии. Разберите строение металлического слитка в зависимости от условий кристаллизации.

Для описания кристаллизации чистого металла достаточным является построение термической кривой. При кристаллизации двухкомпонентных сплавов в равновесном состоянии используются диаграммы состояния, которые в удобной графической форме позволяют судить о их фазовом составе в любой точке диаграммы. Оценка количества фаз в двухфазной области производится в соответствии с правилом отрезков (рычага). Особое внимание уделите разбору правила фаз и рассчитайте число степеней свободы при кристаллизации чистого металла и двухкомпонентного сплава.

Необходимо отчетливо представлять строение металлов и сплавов в твердом состоянии. Уясните, что такое твердый раствор, химическое соединение, механическая смесь. Нужно усвоить общую методику построения диаграмм состояния для различных случаев взаимодействия компонентов в твердом состоянии.

Весьма важным следует считать изучение диаграмм «состав-свойство». С помощью правил Курнакова нужно уметь установить связь между составом, строением и свойствами сплава.

3.2. Краткие теоретические сведения

Кристаллизация – это переход материала из жидкого состояния в твердое кристаллическое.

В природе все самопроизвольно протекающие процессы, в том числе и кристаллизация, обусловлены тем, что новое состояние является энергетически более устойчивым, так как обладает меньшей свободной энергией (энергией Гиббса).

Процесс кристаллизации состоит из двух этапов: образования центров кристаллизации (зародышей) и их дальнейшего роста.

Скорость каждого из процессов зависит от степени переохлаждения (ΔT) жидкости относительно равновесной температуры (T_s), т. е. температуры, при которой энергии Гиббса жидкого и кристаллического

состояний равны. При $\Delta T = 0$ образование зародышей кристаллов (центров кристаллизации) невозможно, поскольку движущий фактор процесса (разность энергий Гиббса жидкого и твердого состояний) равен нулю. С увеличением переохлаждения эта разность растет, вызывая увеличение скорости возникновения центров кристаллизации ($v_З$) и скорости роста кристаллов ($v_Р$). Однако при этом снижается диффузионная подвижность атомов, что вызывает торможение обоих элементарных процессов. При небольших значениях степени переохлаждения ΔT ($v_З << v_Р$) образуются крупнозернистые структуры. С увеличением степени переохлаждения структуры измельчаются ($v_З >> v_Р$). При значительном переохлаждении атомы становятся столь малоподвижными, что кристаллизация полностью подавляется и образуется аморфная структура.

Сплав – это вещество, полученное сплавлением, спеканием, электролизом или каким-либо другим способом из двух или более компонентов.

Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевании возможно различное взаимодействие компонентов. По характеру взаимодействия компонентов различают следующие виды сплавов: механические смеси, твердые растворы, химические соединения, промежуточные фазы.

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Основным отличием является большая роль диффузионных процессов между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Кроме того, в сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры. Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

3.3. Вопросы

1. Из скольких фаз состоит система вода – лед, когда наряду с водой существует пять кусков льда разной формы и размеров?

число фаз: 1) шесть; 2) две.

2. Опираясь на чисто логические соображения, подумайте, возможны ли процессы диффузии при отрицательных температурах?

1) возможны; 2) невозможны.

3. В сплавах Fe – Cr разного состава установлена фаза с одним и тем же типом кристаллической решетки о. ц. к., но имеющим разные периоды. Какой следует считать эту фазу?

1) химическое соединение; 2) твердый раствор.

4. Исходя из характеристики основных фаз в сплавах установите по какому основному признаку можно судить, является ли фаза твердым раствором, химическим соединением или чистым компонентом.

кристаллизация сплавов происходит: 1) при $T \neq \text{const}$, так как при кристаллизации число степеней свободы $C \neq 0$; 2) в таких же температурных условиях, как и чистых веществ, так как $C \neq 0$.

5. Возможна ли кристаллизация двухкомпонентного сплава при постоянной температуре? Если да, то при каких условиях?

1) невозможна; 2) возможна, если при кристаллизации образуются две твердые фазы.

6. Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение зависимости температур фазовых превращений в сплавах от их состава. Исходя их этого определения установите, в каких координатах должна строиться диаграмма состояния двухкомпонентного сплава.

в координатах: 1) температура – концентрация (состав); 2) температура – время.

7. При какой (каких) температуре(ах) возможен процесс кристаллизации (рис. 3.3)?

1) T_2 и T_3; 2) T_1 и T_2; 3) T_1; 4) T_3.

8. На рис. 3.4 представлено изменение энергии Гиббса при образовании зародышей кристалла. Возможен ли рост кристалла из зародыша размером r?

1) к росту способен любой зародыш; 2) рост маловероятен, так как он сопровождается повышением энергии Гиббса; 3) рост возможен, поскольку размер зародыша превышает критический; 4) рост такого зародыша возможен только при гетерогенном образовании.

9. Чем определяется форма зерен металла?

1) условиями столкновения растущих зародышей правильной формы; 2) формой частиц нерастворимых примесей, на которых протекает кристаллизация; 3) интенсивностью тепловых потоков; 4) формой кристаллических зародышей.

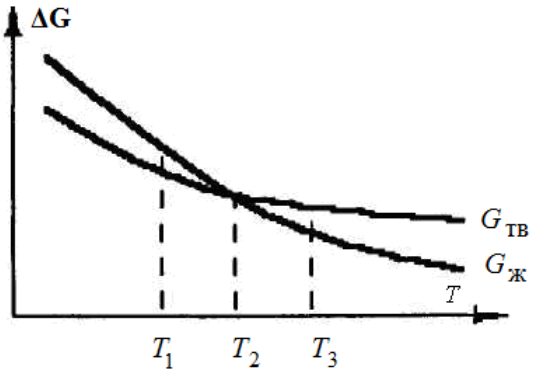


Рис. 3.3. Изменение энергии Гиббса от температуры

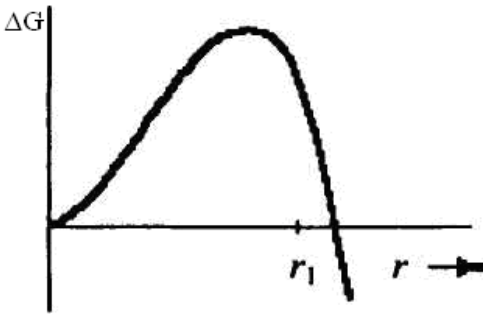


Рис. 3.4. Изменение энергии Гиббса при образовании зародышей кристалла

10. Как зависит размер зерен металла от степени переохлаждения его при кристаллизации?

1) чем больше степень переохлаждения, тем крупнее зерно; 2) размер зерна не зависит от степени переохлаждения; 3) чем больше степень переохлаждения, тем мельче зерно; 4) зависимость неоднозначна: с увеличением переохлаждения зерно одних металлов растет, других - уменьшается.

11. Какую структуру можно ожидать, если при кристаллизации достигнута степень переохлаждения n_1 (рис. 3.5)?

1) любую. Характер структуры мало зависит от степени переохлаждения; 2) аморфную; 3) крупнокристаллическую; 4) мелкокристаллическую.

12. Как называется структура, схема которой представлена на рис. 3.6?

1) дендрит; 2) блок мозаичной структуры; 3) сложная кристаллическая решетка; 4) ледебурит.

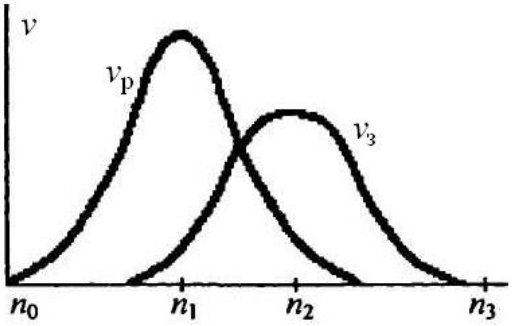


Рис. 3.5. Степень переохлаждения сплава

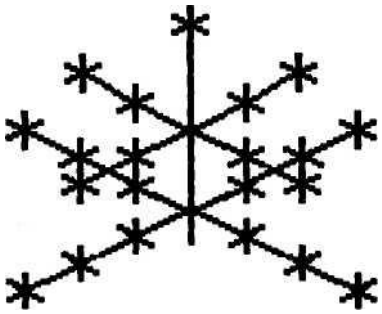


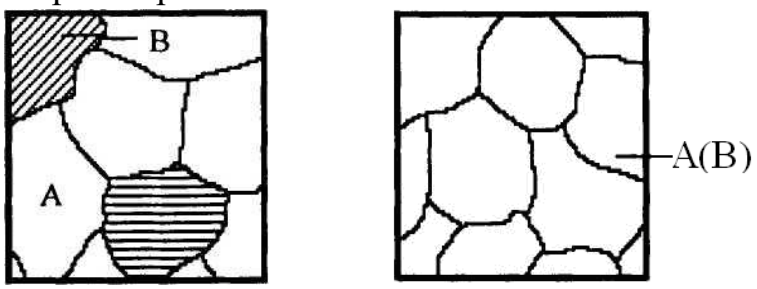
Рис. 3.6. Структура сплава

13. Микроструктура какого сплава представлена на рис. 3.7, *а*?

1) твердого раствора внедрения; 2) твердого раствора замещения; 3) механической смеси; 4) химического соединения.

14. Микроструктура какого сплава представлена на рис. 3.7, *б*?

1) механической смеси; 2) чистого металла; 3) химического соединения; 4) твердого раствора.



а *б*

Рис. 3.7. Микроструктура сплава

15. Кристаллическая решетка какого сплава представлена на рис. 3.8, *а*?

1) механической смеси; 2) твердого раствора внедрения; 3) химического соединения; 4) твердого раствора замещения.

16. Какому типу сплавов принадлежит кристаллическая решетка, представленная на рис. 3.8б?

1) твердому раствору внедрения; 2) твердому раствору замещения; 3) химическому соединению; 4) механической смеси.



а *б*

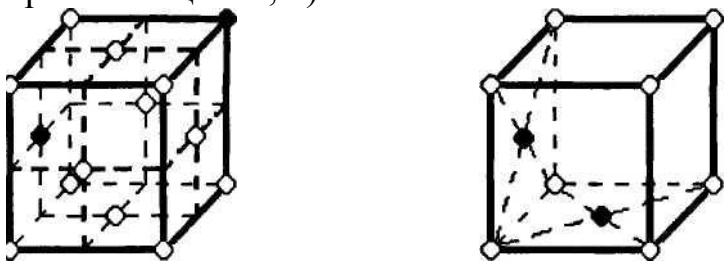
Рис. 3.8. Кристаллическая решетка сплава:
○ - компонент *A*; ● - компонент *B*

17. К какому типу принадлежит сплав, кристаллическая решетка которого представлена на рис. 3.9, *а*?

1) к химическим соединениям; 2) к твердым растворам замещения; 3) к твердым растворам внедрения; 4) к механическим смесям.

18. К какому типу принадлежит сплав, кристаллическая решетка которого представлена на рис. 3.9, *б*?

1) к химическим соединениям; 2) к твердым растворам внедрения; 3) к твердым растворам замещения; 4) к механическим смесям.



а *б*

Рис. 3.9. Кристаллическая решетка сплава:
○ - компонент *A*; ● - компонент *B*

19. На рис. 3.10 представлены кристаллические решетки, принадлежащие сплавам одной системы. Какая это система?

В системе...1) компоненты ограниченно растворяются друг в друге; 2) компоненты неограниченно растворяются друг в друге; 3) отсутствует взаимная растворимость компонентов; 4) компоненты образуют устойчивое химическое соединение.

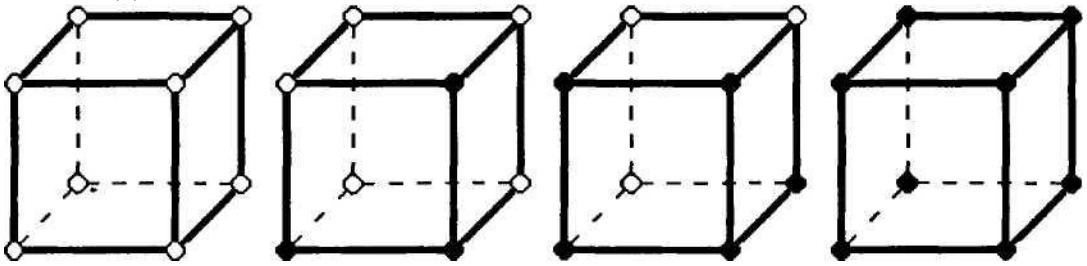


Рис. 3.10. Кристаллические решетки сплавов:
○ - компонент *A*; ● - компонент *B*

20. Для каких сплавов компонентов *A* и *B* характерно равенство $A(B) = B(A)$?

1) для твердых растворов внедрения; 2) для механических смесей; 3) для химических соединений; 4) для неограниченных твердых растворов.

21. Возможна ли 100-процентная концентрация растворяемого компонента в решетке растворителя?

1) возможна в системе с химическими соединениями; 2) нет; 3) возможна в системе механических смесей; 4) возможна в системе неограниченных твердых растворов.

22. Где правильно записано уравнение правила фаз?

1) $C = K+F-1$; 2) $C = F+K+1$; 3) $C = F-K+1$; 4) $C = K-F+1$.

23. Что такое эвтектика?

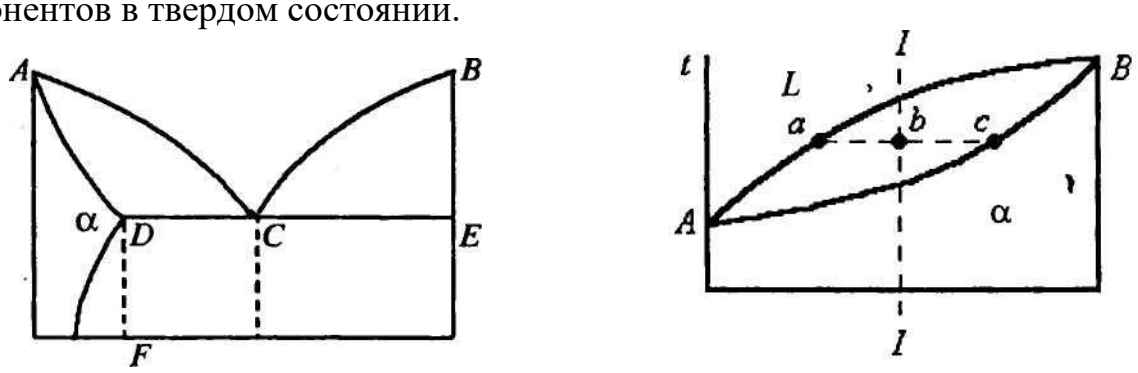
1) вещество, образующееся при некотором соотношении компонентов и имеющее кристаллическую решетку, отличную от решеток, составляющих эвтектику веществ; 2) механическая смесь двух компонентов; 3) неограниченный твердый раствор компонентов друг в друге; 4) механическая смесь, образующаяся в результате одновременной кристаллизации компонентов или твердых растворов из жидкого раствора.

24. Диаграмма состояния какого типа представлена на рис. 3.11, *а*?

1) с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии; 2) с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии; 3) с неустойчивым химическим соединением; 4) с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии.

25. Какая диаграмма состояния представлена на рис. 3.11, *а*?

1) с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии; 2) с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии; 3) с химическим соединением; 4) с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии.



а *б*

Рис. 3.11. Диаграмма состояния сплава

26. Отношением каких отрезков определяется количество кристаллической фазы в сплаве $I - I$ в точке b (рис. 3.12, *б*)?

1) bc/ac; 2) bc/ab; 3) ab/ac; 4) ab/bc.

27. При каких температурных условиях кристаллизуются чистые металлы?

1) в зависимости от природы металла температура может снижаться в одних случаях, повышаться в других и оставаться постоянной в третьих; 2) при снижающейся температуре; 3) при растущей температуре; 4) при постоянной температуре.

28. При каких температурных условиях кристаллизуются сплавы в системе с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии?

1) все сплавы кристаллизуются при снижающейся температуре; 2) кристаллизация сплавов протекает при снижающейся температуре, завершается - при постоянной; 3) все сплавы кристаллизуются при

постоянной температуре; 4) сплавы кристаллизуются при растущей температуре (из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации).

29. При каких температурных условиях кристаллизуются эвтектики в двухкомпонентных сплавах?

1) при снижающейся температуре; 2) в зависимости от вида сплава температура может расти в одних случаях, снижаться в других и оставаться постоянной в третьих; 3) при постоянной температуре; 4) при растущей температуре.

30. Как меняется температура сплавов системы с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии в процессе кристаллизации?

1) снижается (кроме эвтектического сплава), завершается кристаллизация всех сплавов при постоянной температуре; 2) остается постоянной; 3) снижается; 4) снижается (кроме эвтектического сплава), завершается кристаллизация некоторых сплавов при постоянной температуре.

3.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Неверно. Ведь форма и размер разных кусков льда не является признаком разных фаз.

2) Правильно. Одна фаза – вода, другая – пять кусков льда.

2. 1) Правильно. Атомы движутся при любой температуре.

2) Ошибаетесь. Разве при $T < 0$ ºС атомы не движутся?

3. Чтобы осуществить закалку, нужен нагрев в аустенитную область, т. е. превращение П → А; после этого при охлаждении происходит превращение А → М; при отпуске мартенсит подвергается распаду, т. е. М → продукты распада.

4. Получение мелкого зерна аустенита обеспечивает применение наследственно-мелкозернистых сталей, сталей, легированных Ti, Zr, V, W; повышенную скорость нагрева; предотвращение перегрева; оптимальное время нагрева.

5. Увеличение времени превращения связано с уменьшением скорости диффузии углерода при температурах ниже 550 °С.

6. Чем выше степень переохлаждения, тем более мелкокристаллическими являются продукты превращения (как и при кристаллизации жидкой фазы). Поэтому следует ожидать, что кристаллы феррита и цементита, которые образовались при 550 °С, будут мельче, чем образовавшиеся при 700 °С.

7. 1) Неверно. Любой спонтанный процесс протекает лишь тогда, когда уровень энергии нового состояния ниже, чем у исходного состояния. При температуре T_3 энергия кристаллического состояния выше, чем энергия жидкости, а при T_2 они равны.

2) Неверно. При температуре T_2 кристаллизация невозможна,

поскольку уровень энергии жидкого и кристаллического состояний одинаков.

3) Правильно.

4) Неверно. Любой спонтанный процесс протекает лишь тогда, когда уровень энергии нового состояния ниже, чем исходного. При температуре T_3 энергия кристаллического состояния выше уровня энергии жидкости.

8. 1) Безусловно, выбранный вами фактор оказывает существенное влияние на процесс кристаллизации, однако он проявляется в более общих закономерностях, установленных Д. К. Черновым.

2) Правильно.

3) Безусловно, выбранный вами фактор оказывает существенное влияние на процесс кристаллизации, однако он проявляется в более общих закономерностях, установленных.

4) Неверно. Вне зависимости от того, образуется ли зародыш внутри жидкости или на частицах примеси, его рост возможен лишь тогда, когда он будет сопровождаться снижением энергии системы.

9. 1) Правильно.

2) Неверно. Форма частиц, а точнее форма их кристаллов оказывает влияние на форму растущих зерен, лишь пока зерна находятся в контакте с жидкостью, а не друг с другом.

3) Тепловые потоки, безусловно, влияют на ориентацию и форму растущих кристаллов, однако это влияние по сути - лишь проявление более общих закономерностей.

4) Неверно. Форма зародышей определяет форму растущих кристаллов, лишь пока они окружены жидкостью.

10. 1) Неверно. При больших степенях переохлаждения в единицу времени образуется большое количество мелких центров кристаллизации, к тому же скорость роста кристаллов из этих центров в таких условиях невысока.

2) Неверно. Поскольку пики кривых числа возникающих центров кристаллизации и скорости роста из них кристаллов не совпадают по температуре, вид структуры не может не зависеть от степени переохлаждения сплава.

3) Правильно.

4) Неверно. При малых степенях переохлаждения возможно возникновение лишь достаточно крупных центров кристаллизации и, следовательно, не очень большого их количества. Эта закономерность характерна для всех металлов.

11. 1) Неверно. Поскольку пики кривых числа возникающих центров кристаллизации и скорости роста из них кристаллов не совпадают по температуре, вид структуры не может не зависеть от степени переохлаждения сплава.

2) Неверно. Аморфная структура может быть получена при таких переохлаждениях, когда подвижность атомов становится недостаточной для

образования центров кристаллизации.

3) Правильно.

4) Неверно. Мелкокристаллическая структура может возникнуть тогда, когда образуется большое количество центров кристаллизации при малой скорости роста из них кристаллов.

12. 1) Правильно.

2) Неверно. Блоки мозаичной структуры представляют собой бездефектные (за исключением точечных дефектов) участки кристалла, окруженные малоугловыми границами.

3) Неверно. Сложными называют решетки, у которых атомы находятся не только в вершинах элементарной ячейки, но также и внутри ее или на ее гранях или ребрах.

4) Неверно. Ледебурит - это структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, представляющая собой механическую смесь аустенита и цементита или перлита и цементита.

13. 1) Неверно. Твердые растворы обозначают буквами греческого алфавита, либо выражениями вида $A(B)$ - раствор компонента B в A. Зерна растворов однородны. К какому виду растворов относится сплав, можно установить лишь на атомном уровне.

2) Неверно. Твердые растворы обозначают буквами греческого алфавита, либо выражениями вида $A(B)$ - раствор компонента B в A. Зерна растворов однородны. К какому виду растворов относится сплав, можно установить лишь на атомном уровне.

3) Правильно.

4) Неверно. Зерна химических соединений однородны. Химические соединения обозначают выражениями вида A_mB_n, где A и B - компоненты соединения, а m и n - их стехиометрические коэффициенты.

14. 1) Неверно. Микроструктура сплава типа механическая смесь состоит из разнородных зерен.

2) Неверно. Чистые металлы обозначают их химическими символами или, в общем виде, буквами латинского алфавита.

3) Неверно. Химические соединения обозначают выражениями вида A_mB_n, где A и B - компоненты соединения, а m и n - их стехиометрические коэффициенты.

4) Правильно.

15. 1) Неверно. Механическая смесь выявляется на уровне отдельных зерен или их частей, т.е. на уровне микроструктуры, а не тонкой структуры, как в данном случае.

2) Неверно. В растворах внедрения атомы растворенного компонента находятся в междоузлиях кристаллической решетки.

3) Неверно. В кристаллической решетке химического соединения атомы компонентов расположены закономерно - каждый атом одного компонента окружен вполне определенным количеством атомов другого

компонента.

4) Правильно.

16. 1) Правильно.

2) Неверно. В твердых растворах замещения атомы растворенного компонента занимают места в узлах кристаллической решетки вместо атомов компонента-растворителя.

3) Неверно. В кристаллической решетке химического соединения атомы компонентов расположены закономерно - каждый атом одного компонента окружен вполне определенным количеством атомов другого компонента.

4) Неверно. Механическая смесь выявляется на уровне отдельных зерен или их частей, т.е. на уровне микроструктуры, а не тонкой структуры, как в данном случае.

17. 1) Неверно. В кристаллической решетке химического соединения атомы компонентов расположены закономерно - каждый атом одного компонента окружен вполне определенным количеством атомов другого компонента.

2) Правильно.

3) Неверно. В растворах внедрения атомы растворенного компонента находятся в междоузлиях кристаллической решетки.

4) Неверно. Механическая смесь выявляется на уровне отдельных зерен или их частей, т. е. на уровне микроструктуры, а не тонкой структуры, как в данном случае.

18. 1) Неверно. В кристаллической решетке химического соединения атомы компонентов расположены закономерно - каждый атом одного компонента окружен вполне определенным количеством атомов другого компонента.

2) Правильно.

3) Неверно. В твердых растворах замещения атомы растворенного компонента занимают места в узлах кристаллической решетки вместо атомов компонента-растворителя.

4) Неверно. Механическая смесь выявляется на уровне отдельных зерен или их частей, т. е. на уровне микроструктуры, а не тонкой структуры, как в данном случае.

19. 1) Неверно. На схеме четко просматривается плавный переход от решетки чистого компонента *A* к чистому компоненту *B*.

2) Правильно.

3) Неверно. В кристаллических ячейках сплавов находится переменное количество атомов как компонента *A*, так и *B*.

4) Неверно. Химическое соединение имеет постоянную решетку, в которой местоположение всех атомов вполне определенно.

20. 1) Неверно. В твердых растворах внедрения атомы растворенного компонента находятся в междоузлиях решетки растворителя. В этом случае

растворы $A(B)$ и $B(A)$ существенно различны.

2) Неверно. Выражения вида $A(B)$ означают твердый раствор компонента B в A. Механические смеси растворов не образуют.

3) Неверно. Выражения вида $A(B)$ означают твердый раствор компонента B в A, но не химическое соединение.

4) Правильно.

21. 1) Возможны химические соединения, неограниченно растворяющиеся друг в друге. Однако если все атомы соединения заменить атомами одного растворяемого компонента, то оно перестанет быть соединением.

2) Неверно. Если все атомы в кристаллической решетке одного компонента могут быть замещены атомами другого компонента, то это и будет раствор со 100-процентной концентрацией.

3) Неверно. В системе механических смесей не образуется твердых растворов.

4) Правильно.

22. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

23. 1) Неверно. Выбранный ответ описывает признаки химического соединения, но не эвтектики.

2) Ответ неполон. Механической смесью является, например, эвтектоид, имеющий определенные отличия от эвтектики.

3) Неверно. Там, где имеют место неограниченные твердые растворы, эвтектики быть не может.

4) Правильно.

24. 1) Правильно.

2) Неверно. В системе в твердом состоянии нет механических смесей, нет химических соединений и нет иного раствора, кроме α .

3) Неверно. В системе в твердом состоянии нет механических смесей, нет химических соединений и нет иного раствора, кроме α

4) Неверно. В системе в твердом состоянии нет механических смесей, нет химических соединений и нет иного раствора, кроме α.

25. 1) Неверно. При охлаждении сплавов, лежащих между точками D и E, образуется механическая смесь (эвтектика) из твердого раствора a и компонента B.

2) Правильно.

3) Неверно. Диаграммы с химическим соединением состоят как бы из двух диаграмм, приложенных друг к другу по линии химического соединения.

4) Неверно. В области, лежащей левее линии ADF, в диаграмме присутствует твердый раствор α.

26. 1) Неверно. Выражение *bclac* определяет относительное количество жидкой фазы сплава.

2) Неверно. Выражение *bclab* определяет соотношение жидкой и твердой фаз сплава.

3) Правильно.

4) Неверно. Выражение *ablbc* определяет соотношение твердой и жидкой фаз сплава.

27. 1) Неверно. Поведение системы в различных термодинамических условиях определяется законом Гиббса. Примените правило фаз, и вы получите однозначный ответ на поставленный вопрос.

2) Неверно. Поведение системы в различных термодинамических условиях определяется законом Гиббса. Примените правило фаз, и вы получите однозначный ответ на поставленный вопрос.

3) Неверно. Поведение системы в различных термодинамических условиях определяется законом Гиббса. Примените правило фаз, и вы получите однозначный ответ на поставленный вопрос.

4) Правильно.

28. 1) Правильно.

2) Неверно. Температура может меняться подобным образом, если кристаллизация завершается образованием эвтектики, чего в рассматриваемой системе нет.

3) При постоянной температуре кристаллизуются лишь нонвариантные системы. В рассматриваемом случае кристаллизация всех сплавов (кроме чистых компонентов) протекает при степенях свободы, отличных от нуля.

4) Неверно. Некоторый рост температуры в начале кристаллизации возможен лишь при значительном переохлаждении сплава.

29. 1) Неверно. Отвод тепла при эвтектическом превращении полностью компенсируется скрытой теплотой кристаллизации. Для ответа на поставленный вопрос примените правило фаз.

2) Правильно.

3) Неверно. Применив правило фаз к рассматриваемой системе, вы получите однозначный ответ на поставленный вопрос.

4) Неверно. Рост температуры возможен лишь на начальной стадии кристаллизации при сильном переохлаждении жидкости.

30. 1) Правильно.

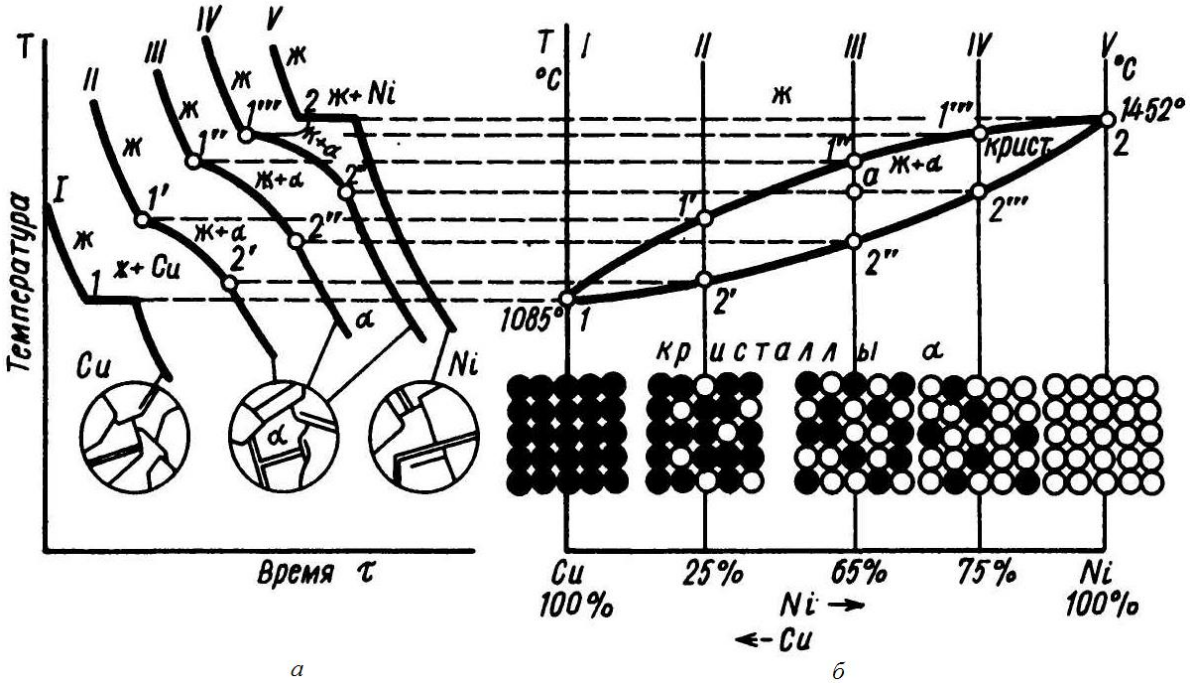
2) Неверно. При постоянной температуре в таких системах кристаллизуется лишь один сплав - эвтектический.

3) Неверно. Для большинства сплавов системы это лишь один из этапов процесса кристаллизации.

4) Неверно. Так кристаллизуются сплавы в системах с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

3.5. Задачи

3.1. Определите количество жидкой фазы у сплава состава 65 % Ni и 35 % Cu (рис. 3.12, б) в точке $2^{//}$.

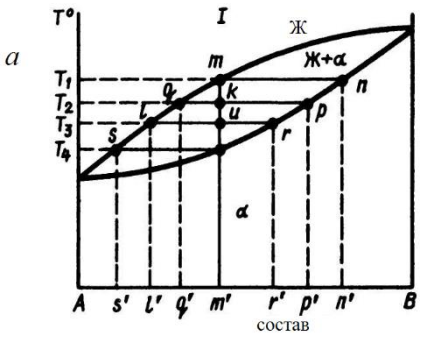


а *б*

Рис. 3.12. Диаграмма состояния для сплавов Cu – Ni :
а – кривые охлаждения сплавов *I...V*; *б* – диаграмма состояния сплавов Cu –Ni и схемы расположения атомов меди (черные) и никеля (белые) в кристаллической решетке разных сплавов

3.2. Определите количество кристаллов α при температуре T_1 в точке *b* (рис. 3.12, *а*), если общее количество сплава равно 100 кг.

3.3. Каков состав всех кристаллов, образовавшихся у сплава состава *m*' (рис. 3.13) при кристаллизации и охлаждении в интервале температур $T_1 - T_4$ после завершения равновесной кристаллизации? (Равновесной кристаллизацией называем такой процесс, когда все превращения в сплаве успели совершиться.)



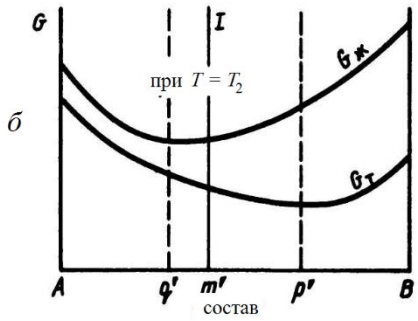
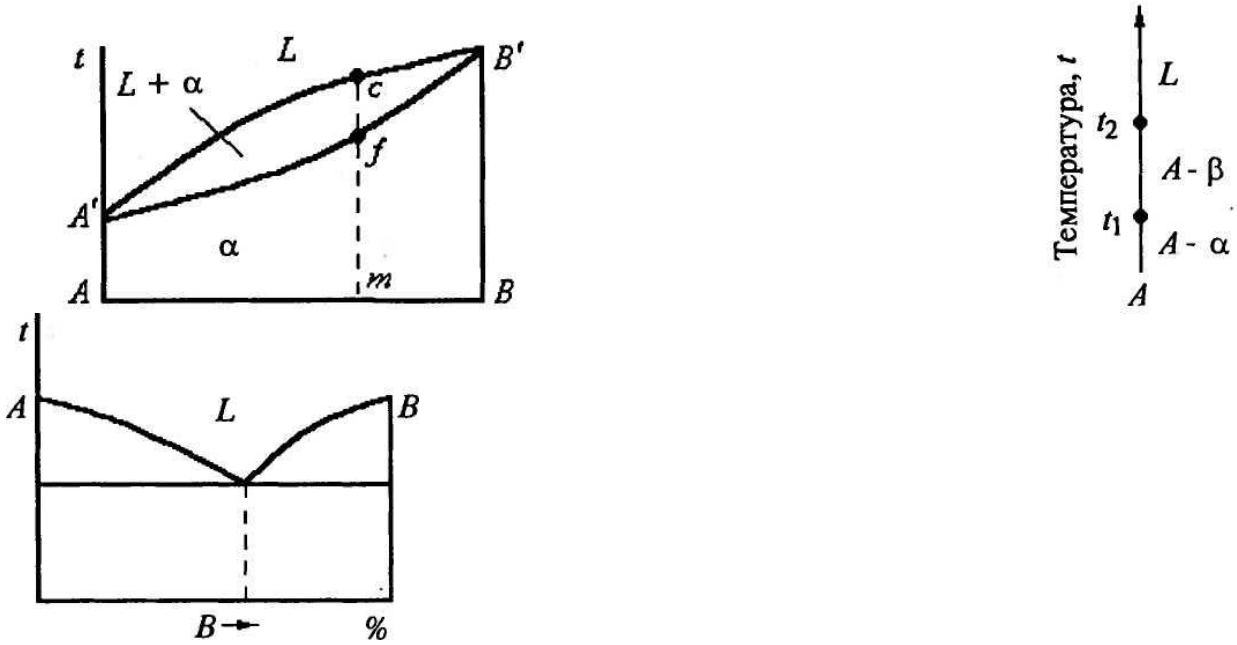


Рис. 3.13. Диаграмма состояния *(а);* изменение термодинамического потенциала жидкой $G_Ж$ и твердой $G_Т$ фаз в зависимости от состава при температуре T_2 (б)

3.4. Каким отрезком определяется концентрация компонента *A* в точке *m* диаграммы состояния (рис. 3.14, *а*)?

3.5. Какая диаграмма состояния представлена на рис. 3.14, *б*?



а *б* *в*

Рис. 3.14. Диаграмма состояния сплава

3.6. Какая диаграмма состояния представлена на рис. 3.14, *в*?

3.7. В каком из сплавов эвтектическая реакция займет больше времени, если скорость кристаллизации во всех сплавах одинакова (рис. 3.15)?

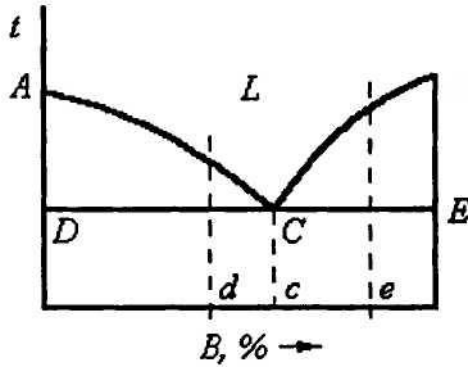


Рис. 3.15. Диаграмма состояния сплава

3.8. Какому сплаву (каким сплавам) принадлежит кривая охлаждения *B* (рис. 3.16)?

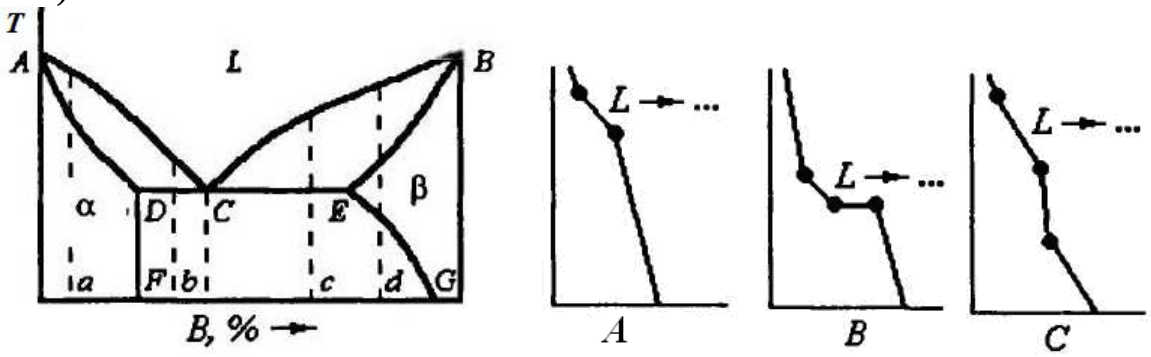


Рис. 3.16. Кривые охлаждения сплавов

3.9. Какая из приведенных структур принадлежит сплаву *I – I* при комнатной температуре (рис. 3.17)?

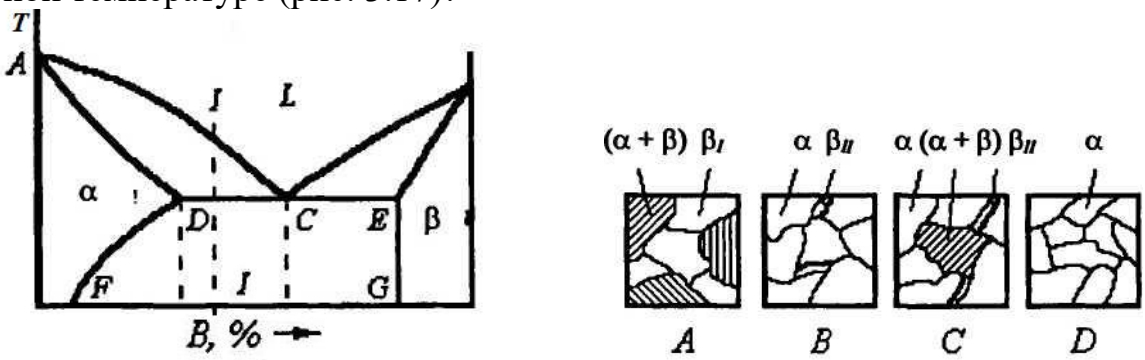


Рис. 3.17. Диаграмма состояния и структуры сплавов

3.10. В какой из диаграмм (рис. 3.18) имеется неустойчивое химическое соединение?

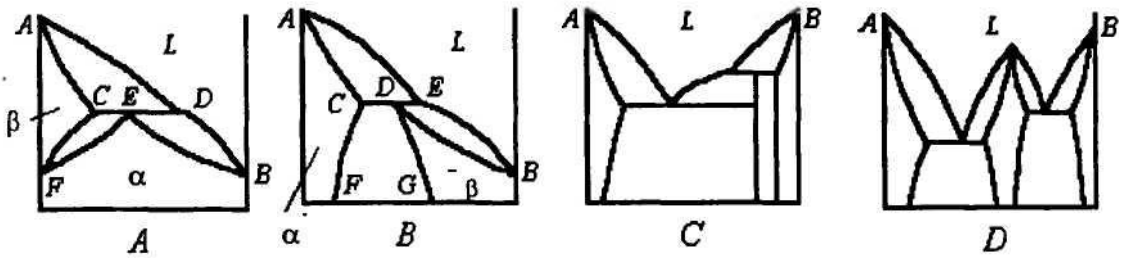


Рис. 3.18. Диаграммы состояния сплавов

№ 3.11. В какой диаграмме (каких диаграммах) состояния есть полиморфное превращение (рис. 3.19)?

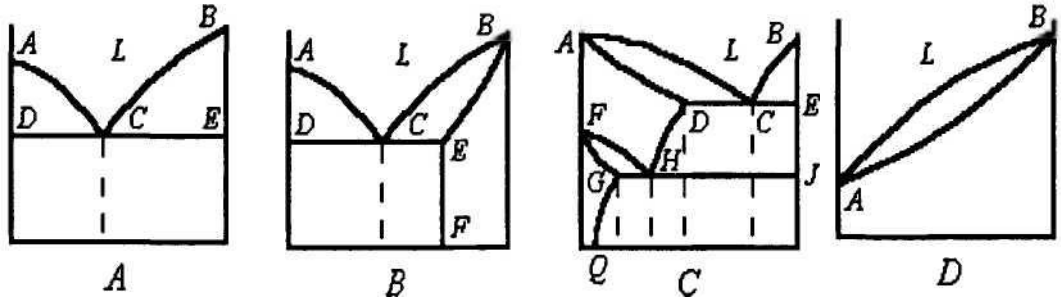


Рис. 3.19. Диаграммы состояния сплавов

4 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

4.1. Методические указания

Термическая обработка - один из основных способов влияния на структуру, а следовательно, и на свойства материалов. В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения различают следующие основные виды термический обработки: отжиг, закалку и отпуск. Нужно знать цель и сущность каждого вида термической обработки, его технологию, а главное - какую структуру и свойства приобретает сталь в результате проведения каждого вида термической обработки. Следует иметь в виду, что иногда брак, полученный при термической обработке, может проявиться только при эксплуатации деталей.

При изучении данной темы необходимо особое внимание уделить основным превращениям в стали при нагреве и охлаждении, связав между собой характер изменения структуры и свойств. Важно иметь четкое представление о критической скорости закалки, закаливаемости и прокаливаемости материала, критическом диаметре закалки.

При изучении превращений переохлажденного аустенита обратите внимание на диаграмму изотермического распада, устанавливающую связь между температурными условиями превращения, интенсивностью распада и строением продуктов превращения. Разберитесь в особенностях перлитного, бейнитного и мартенситного превращений, происходящих соответственно в верхней, средней и нижней температурных областях. Уясните строение и свойства перлита, сорбита, троостита, бейнита, мартенсита.

Изучите влияние легирующих элементов на кинетику и характер превращения аустенита. Запомните, что легирующие элементы, как правило, затормаживают процессы превращений.

Процессы, протекающие при термической обработке легированных сталей, те же, что и в углеродистых, но при назначении режима термической обработки необходимо учитывать ряд факторов. Легированные стали можно закаливать в масле, расплавленных солях и т. п.; у них меньше критическая скорость закалки (так как почти все легирующие элементы сдвигают кривые изотермического распада аустенита вправо). Это является их большим достоинством, так как при одинаковой прочности получается повышенная вязкость. Следует отчетливо понять, что чем меньше критическая скорость закалки, тем больше прокаливаемость стали, и при одной и той же скорости охлаждения, например в масле, будет больше глубина закаленного слоя. Поэтому у легированных сталей можно получить одинаковую по строению равнопрочную структуру в значительно большем сечении.

В результате изучения данной темы студент, помимо усвоения теоретических основ, должен уметь правильно выбрать все элементы цикла термической обработки в зависимости от требуемых свойств и химического состава обрабатываемого материала.

4.2. Краткие теоретические сведения

Разнообразие условий работы деталей машин и механизмов определяет требования, предъявляемые к свойствам материала. Одним из способов получения требуемых свойств является термическая обработка стали как самого распространенного конструкционного материала. При термической обработке стали наблюдаются 4 основных превращения.

1. Превращение перлита в аустенит (П→А) при нагреве. В этом случае происходит два процесса:

а) перестройка решетки $\alpha \rightarrow \gamma$;

б) растворение цементита в аустените.

Превращение начинается с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка α-Fe перестраивается в решетку γ-Fe. Образующиеся зерна аустенита получаются мелкими. При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. При последующем охлаждении размеры зерен аустенита не изменяется. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства. Крупное

зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладноломкости.

Неправильный выбор режима нагрева может привести либо к *перегреву*, либо к *пережогу* стали.

Перегрев стали значительно выше температуры A_3 (линия *GS*) приводит к интенсивному росту зерна аустенита и понижению механических свойств. Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Пережог – неисправимый брак.

2. Превращение аустенита в перлит (А→П) при медленном охлаждении. В этом случае происходит два процесса:

а) перестройка решетки γ→α;

б) выделение углерода из аустенита и образование кристаллов цементита.

В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения, протекающие с разной скоростью и описываемые С-образной диаграммой (рис. 4.1). Вначале с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает и достигает максимума при температуре примерно 550 °С, а затем убывает и постепенно затухает. При температуре 727 и ниже 200 °С скорость превращения равна нулю.

3. Превращение аустенита в мартенсит (А→М) при быстром охлаждении. При охлаждении стали с большой скоростью превращение аустенита в феррит произойти не успевает и весь аустенит превращается в мартенсит.

Мартенсит – пересыщенный по углероду твердый раствор углерода в α-Fe, концентрация которого равна содержанию углерода в исходном аустените.

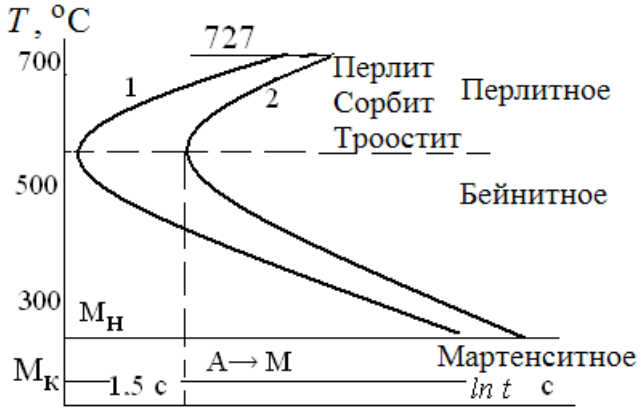


Рис. 4.1. С-образная диаграмма – распад переохлажденного аустенита

Принципиальное отличие превращения А→М от А→П заключается в том, что превращение А→М протекает бездиффузионно. Температуру начала мартенситного превращения обозначают $M_Н$, а температуру окончания

превращения – $М_К$. Температуры $М_Н$ и $М_К$ зависят от содержания углерода (чем его больше, тем ниже $М_Н$), но не зависят от скорости охлаждения.

Мартенсит характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью, что обусловливает его хрупкость. Твердость составляет до 65 HRC или 600 НВ. Высокая твердость вызвана влиянием внедренных атомов углерода в решетку α-фазы, что вызывает ее искажение и возникновение напряжений.

Критическая скорость закалки – минимальная скорость охлаждения, при которой весь аустенит превращается в мартенсит.

4. Превращение М→П при нагреве. Мартенсит - структура неравновесная, сохраняющаяся при низких температурах, поэтому если сталь с мартенситной структурой нагреть, то практически мгновенно произойдет обратное превращение мартенсита в перлит.

Технологически различают следующие виды термической обработки: отжиг, закалку и отпуск (основные), а также улучшение и старение.

❖ *Отжиг* – вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали до заданной температуры, выдержки и последующего медленного охлаждения. При отжиге снижаются прочность и твердость, повышаются пластичность и вязкость. В зависимости от происходящих фазовых изменениях в стали различают отжиг I и II родов.

При отжиге I рода в стали не происходят фазовые превращения. Отжиг I рода частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутренние напряжения.

К отжигу I рода относятся:

- отжиг для снятия внутренних напряжений после ковки, сварки, литья и обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров. Температура нагрева в диапазоне 200-300 ºС выбирается в зависимости от назначения. Продолжительность обработки зависит от габаритов изделия.
- *Рекристаллизационный отжиг* проводится для устранения последствий холодной пластической деформации. Температура нагрева превышает температуру рекристаллизации 600-700 ºС.
- *Диффузионный* (*гомогенизирующий*) *отжиг*. Применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава за счет процессов диффузии. Поэтому требуется высокая температура нагрева 1100-1200 ºС. В результате нагрева выравнивается химический состав, растворяются избыточные карбиды.
- При отжиге II рода в стали происходят фазовые превращения. К отжигу II рода относятся (рис. 4.2):

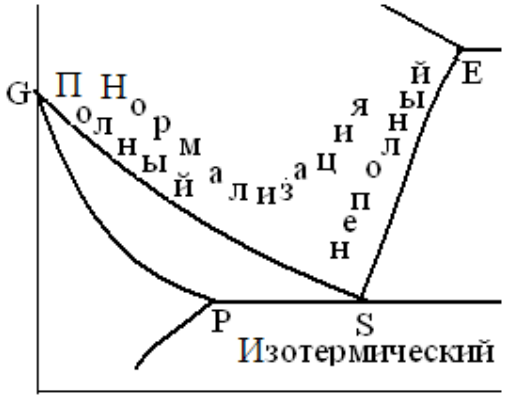


Рис. 4.2. Схема отжига II рода

- *Полный* отжиг с температурой нагрева на 30-50 °С выше температуры A_3 (линия *GS*). Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры. При этом происходит полная перекристаллизация стали. При нагреве получается мелкозернистый аустенит, и после охлаждения сталь сохраняет мелкозернистую структуру.
- *Неполный* отжиг с температурой нагрева на 30-50 °С выше температуры A_1 (линия *PSK*). Проводится для эвтектоидных сталей. При этом в структуре сохраняется вторичный цементит, который в результате отжига приобретает сферическую форму. Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправление структуры, а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием. Для инструментальных сталей неполный отжиг является обязательным.
- *Изотермический отжиг* – после нагрева до температуры на 30-50 °С выше температуры A_3, чтобы прошло $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение, изделие быстро охлаждают на 100-150 °С ниже температуры A_1, и выдерживают до полного превращения аустенита в перлит. Затем охлаждают на воздухе. В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.
- *Нормализация* – термическая обработка, обеспечивающая получение нормального зерна в стали с температурой нагрева на 30-50 °С выше температуры A_3 или A_{cm} с последующим охлаждением на воздухе. При этом происходит полная перекристаллизация стали. Применяется для всех сталей (до-, за– и эвтектоидных).

В результате нормализации уменьшаются внутренние напряжения, устраняется цементитная сетка вокруг зерен. Часто используется вместо более сложных технологических операций (закалки с высоким отпуском).

Особенностью нормализации, по сравнению с другими видами отжига, является одинаковая скорость охлаждения на воздухе для всех сталей.

Поэтому после нормализации у разных сталей получается разная структура, которая зависит от критической скорости закалки. В углеродистой стали после нормализации структура практически получается такая же, как и после отжига, но более мелкая, поэтому прочность нормализованных сталей несколько выше, чем отожженных, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

❖ *Закалка* – вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали до температуры, обеспечивающей получение структуры аустенита, выдержки и последующего быстрого охлаждения. Закалку проводят для повышения прочности, твердости и износостойкости. Цель закалки – получение структуры мартенсита.

Основными параметрами являются температура нагрева и скорость охлаждения. Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали. В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы. Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8…12 %-ные водные растворы NaCl и NaOH.

Характеристиками процесса закалки являются закаливаемость и прокаливаемость стали. С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость стали увеличиваются.

Закаливаемость – способность стали повышать твердость при закалке. Закаливаемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закаливаются.

Прокаливаемость – способность получать закаленный слой с мартенситной структурой, обладающей высокой твердостью на определенную глубину. Характеристикой прокаливаемости является критический диаметр.

Критический диаметр – максимальное сечение, при котором в изделии образуется мартенситная структура по всему сечению. Если мартенситная структура образуется по всему сечению изделия, то это полная прокаливаемость. Если мартенситная структура образуется не по всему сечению изделия, то это неполная прокаливаемость.

Величина критического диаметра для углеродистых сталей 10-20 мм,
для легированных сталей 250-300 мм.

❖ *Отпуск* является заключительной операцией термической обработки. Цель отпуска - повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей.

С повышением температуры нагрева прочность обычно снижается, а пластичность и вязкость растут. Температуру отпуска ($T_н$) выбирают, исходя из требуемой прочности конкретной детали.

Различают три вида отпуска:

1. *Низкий отпуск* $T_н$ = 150…300 °С. При этом несколько снижаются внутренние напряжения. Твердость остается высокой (58...62 HRC). Получают структуру – *мартенсит отпуска*. Рекомендуется для деталей из сталей обыкновенного качества и малоуглеродистых легированных.

2. Средний отпуск $T_н$ = 350…500 °С. Получают структуру – *троостит отпуска,* сочетающую высокую твердость 40…45HRC с хорошей упругостью и вязкостью. Используется для изделий типа пружин, рессор.

3. Высокий отпуск $T_н$ = 550…650 °С. Получают структуру – *сорбит отпуска*, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств). Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

❖ *Улучшение* - закалка с высоким отпуском.

❖ *Старение* – термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора. Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений. В отличие от отпуска, после старения увеличиваются прочность, твердость и уменьшается пластичность. Назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств. Старение является основным способом упрочнения алюминиевых и медных сплавов, а также многих жаропрочных сплавов.

❖ *Термомеханическая обработка* (ТМО) относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов и заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния, пластической деформации стали и последующей закалке. При этом формирование структуры закаленной стали происходит в условиях повышенной плотности дислокаций.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3), выдержке, деформации стали и последующей закалке. ВТМО эффективно использовать для углеродистых, легированных, конструкционных, пружинных и инструментальных сталей. Последующий отпуск при температуре 100…200 °С проводится для сохранения высоких значений прочности.

Сущность низкотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3) и выдержке. Затем сталь охлаждают до температуры выше температуры начала мартенситного превращения (400-600 °С), но ниже температуры рекристаллизации и проводят пластическую деформацию и последующую закалку. НТМО применяют к среднеуглеродистым легированным сталям.

Высокотемпературной термомеханической обработке можно подвергать любые стали, а низкотемпературной - только те, у которых переохлажденный аустенит обладает повышенной устойчивостью, т. е. легированные.

Повышение прочности и пластичности при ТМО связано с тем, что в результате деформации увеличивается плотность дислокаций и других дефектов кристаллической структуры. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения. В результате происходит существенное увеличение прочности при незначительном понижении пластичности. Кроме того, ударная вязкость в 1,5-2 раза выше, по сравнению с обычной закалкой.

4.3. Вопросы

1. Какие сплавы системы *A-B* (рис. 4.1) могут быть закалены?

1) любой сплав; 2) сплавы, лежащие между *E* и *b;* 3) ни один из сплавов; 4) сплавы, лежащие между *a* и *c*.

2. Как называется склонность (или отсутствие таковой) аустенитного зерна к росту?

1) отпускная хрупкость; 2) наследственная или природная зернистость; 3) аустенизация; 4) действительная зернистость.

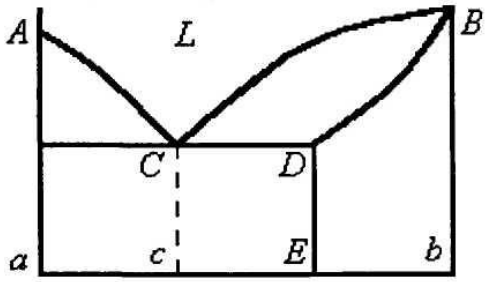


Рис. 4.1. Сплавы системы *A-B*

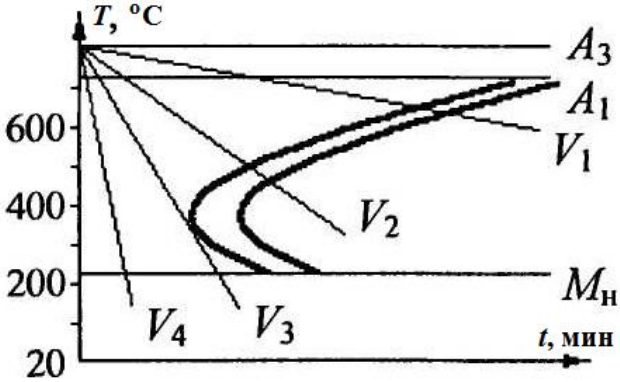


Рис. 4.2. Диаграмма изотермического распада аустенита

3. Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит?

1) кубическую; 2) ГПУ; 3) тетрагональную; 4) ГЦК.

4. Какая из скоростей охлаждения, нанесенных на диаграмму изотермического распада аустенита (рис. 4.2), критическая?

1) V_1.;2) V_4;3) V_3;.4)V_2.

5. Как называется структура, представляющая собой пересыщенный твердый раствор углерода в α-железе?

1) мартенсит; 2) цементит; 3) Феррит; 4) аустенит.

6. Какую скорость охлаждения при закалке называют критической?

1) максимальную скорость охлаждения, при которой еще протекает распад аустенита на структуры перлитного типа; 2) минимальную скорость охлаждения, необходимую для получения мартенситной структуры; 3) минимальную скорость охлаждения, необходимую для фиксации аустенитной структуры; 4) минимальную скорость охлаждения, необходимую для закалки изделия по всему сечению.

7. Каковы основные признаки мартенситного превращения?

1) диффузионный механизм превращения и четкая зависимость температуры превращения от скорости охлаждения сплава; 2) зависимость полноты превращения от температуры аустенизации и малые искажения в кристаллической решетке; 3) слабовыраженная зависимость температуры превращения от состава сплава и малые напряжения в структуре; 4) бездиффузионный механизм превращения и ориентированная структура.

8. Как влияет скорость охлаждения при закалке на температуру начала мартенситного превращения?

1) чем выше скорость охлаждения, тем ниже температура; 2) температура начала мартенситного превращения не зависит от скорости охлаждения; 3) чем выше скорость охлаждения, тем выше температура; 4) зависимость температуры начала мартенситного превращения от скорости охлаждения неоднозначна.

9. От чего зависит количество остаточного аустенита?

1) от температуры точек начала и конца мартенситного превращения; 2) от скорости нагрева при аустенизации; 3) от однородности исходного аустенита; 4) от скорости охлаждения сплава в области изгиба С-образных

кривых.

10. Какой температуре (каким температурам) отвечают критические точки A_3 железоуглеродистых сплавов?

1) 727 °С; 2) 727 ... 1147 °С (в зависимости от содержания углерода); 3) 727 ... 911 °С (в зависимости от содержания углерода); 4) 1147 °С.

11. Что означает точка A_{c3}?

1) температурную точку начала распада мартенсита; 2) температурную точку начала превращения аустенита в мартенсит; 3) температуру критической точки перехода перлита в аустенит при неравновесном нагреве; 4) температуру критической точки, выше которой при неравновесном нагреве доэвтектоидные стали приобретают аустенитную структуру.

12. На какой линии диаграммы состояния Fe-C расположены критические точки A_m.

1) *PSK*; 2) *SE*; 3) *ECF*; 4) *GS*.

13. Как называется термическая обработка стали, состоящая в нагреве ее выше A_3 или A_m, выдержке и последующем быстром охлаждении?

1) истинная закалка; 2) полная закалка; 3) неполная закалка; 4) нормализация.

14. Какой структурный состав приобретет доэвтектоидная сталь после закалки от температуры выше A_{c1} но ниже A_{c3}.

1) мартенсит + феррит; 2) перлит + вторичный цементит; 3) мартенсит + вторичный цементит; 4) феррит + перлит.

15. От какой температуры (*T*) проводят закалку углеродистых заэвтектоидных сталей?

1) от *T* на 30 ... 50 °С выше A_m; 2) от *T* на 30 ... 50 °С ниже линии *ECF* диаграммы Fe-C; 3) от *T* на 30 ... 50 °С выше эвтектической; 4) от *T* на 30 ... 50 °С выше A_1.

16. Почему для доэвтектоидных сталей (в отличие от заэвтектоидных) не применяют неполную закалку?

1) образуется мартенсит с малой степенью пересыщения углеродом; 2) образуются структуры немартенситного типа (сорбит, троостит); 3) изделие прокаливается на недостаточную глубину; 4) в структуре, наряду с

мартенситом, остаются включения феррита.

17. Какова температура закалки стали 50 (сталь содержит 0,5 % углерода)?

1) 600 ... 620 °С; 2) 810 ... 830 °С; 3) 740 ... 760 °С; 4) 1030 ... 1050 °С.

18. Какова температура закалки стали У12?

1) 760 ... 780 °С; 2) 600 ... 620 °С; 3) 1030 ... 1050 °С; 4) 820 ... 840 °С.

19. Сколько процентов углерода содержится в мартенсите закаленной стали марки 45?

1) 0,45 %; 2) 2,14 %; 3) 0,02 %; 4) 0,80 %.

20. Что такое закаливаемость?

1) глубина проникновения закаленной зоны; 2) процесс образования мартенсита; 3) способность металла быстро прогреваться на всю глубину; 4) способность металла повышать твердость при закалке.

21. В чем состоит отличие сталей У10 и У12, закаленных от температуры 760 °С?

1) в структуре сплава У12 больше вторичного цементита; 2) отличий нетУ 3) мартенсит сплава У12 содержит больше углеродаУ 4) мартенсит сплава У10 дисперснее, чем У12.

22. Как влияет большинство легирующих элементов на мартенситное превращение?

1) не влияют на превращение; 2) сдвигают точки начала и конца превращения к более высоким температурам; 3) сдвигают точки начала и конца превращения к более низким температурам; 4) сужают температурный интервал превращения.

23. Какова концентрация углерода в мартенсите закаленной стали марки У12?

1) ~ 0,02 %; 2) 0,8 %; 3) ~ 2,14 %; 4) ~ 1,2 %.

24. Что называют критическим диаметром?

1) диаметр изделия, при закалке которого в центре обеспечивается критическая скорость закалки; 2) максимальный диаметр изделия, принимающего сквозную закалку; 3) диаметр изделия, при закалке которого в центре образуется полумартенситная структура. 4) Максимальный диаметр изделия, прокаливающегося насквозь при охлаждении в данной закалочной среде.

25. Как зависит прокаливаемость стали от интенсивности охлаждения

при закалке?

1) взаимосвязь между интенсивностью охлаждения и прокаливаемостью неоднозначна; 2) чем интенсивнее охлаждение, тем меньше прокаливаемость; 3) прокаливаемость не зависит от интенсивности охлаждения; 4) чем интенсивнее охлаждение, тем больше прокаливаемость.

26. Расположите образцы стали, закаленные в воде, в масле и на воздухе, по степени убывания глубины закаленного слоя, если образец, закаленный в воде, насквозь не прокалился.

1) в масле - на воздухе - в воде; 2) на воздухе - в масле - в воде; 3) в масле - в воде - на воздухе; 4) в воде - в масле - на воздухе.

27. В чем состоит значение полной прокаливаемости сталей?

Полное прокаливание обеспечивает...

1) повышение твердости термообработанного изделия, однако при этом ударная вязкость в сердцевине ниже, чем в наружных слоях; 2) получение после термообработки зернистых структур во всем объеме изделия и высоких однородных по сечению механических свойств; 3) получение одинаковой твердости по сечению изделия; 4) сокращение количества остаточного аустенита, что приводит к повышению механических свойств стали.

28. Как влияют большинство легирующих элементов, растворенных в аустените, на прокаливаемость стали?

1) увеличивают прокаливаемость; 2) уменьшают прокаливаемость; 3) не влияют на прокаливаемость; 4) влияние неоднозначно. Велика зависимость от режимов отпуска.

29. У сплава А критическая скорость закалки больше, чем у сплава Б. У какого сплава больше критический диаметр?

1) у сплава А; 2) у сплава Б; 3) зависимость между критической скоростью закалки и критическим диаметром неоднозначна; 4) критический диаметр не зависит от критической скорости закалки.

30. Чем достигается полная прокаливаемость крупных деталей?

1) многократной закалкой; 2) применением при закалке быстродействующих охладителей; 3) обработкой после закалки холодом; 4) применением для их изготовления легированных сталей.

31. При каком виде отпуска закаленное изделие приобретает наибольшую пластичность?

1) при низком отпуске; 2) при высоком отпуске; 3) пластичность стали является ее природной характеристикой и не зависит от вида отпуска; 4) при среднем отпуске.

32. При каком виде термической обработки доэвтектоидных сталей возникают зернистые структуры?

1) при изотермической закалке; 2) при закалке со скоростью выше критической; 3) при полном отжиге. 4) при отпуске на сорбит, или троостит.

33. Как влияет температура нагрева при отпуске на твердость изделий из углеродистой стали?

1) влияние температуры отпуска на твердость неоднозначно; 2) чем выше температура нагрева, тем выше твердость; 3) чем выше температура нагрева, тем ниже твердость; 4) твердость не зависит от температуры отпуска.

34. Как называется термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска?

1) нормализация; 2) улучшение; 3) сфероидизация; 4) полная закалка.

35. Как называется обработка, состоящая в длительной выдержке закаленного сплава при комнатной температуре или при невысоком нагреве?

1) рекристаллизация; 2) нормализация; 3) высокий отпуск; 4) старение.

36. Какой отжиг следует применить для снятия деформационного упрочнения?

1) рекристаллизационный; 2) полный (фазовую перекристаллизацию); 3) сфероидизирующий; 4) диффузионный.

37. Какова цель диффузионного отжига?

1) гомогенизация структуры; 2) снятие напряжений в кристаллической решетке; 3) улучшение ферритной составляющей структуры; 4) получение зернистой структуры.

38. Как называется термическая обработка стали, состоящая из нагрева ее до аустенитного состояния и последующего охлаждения на спокойном воздухе?

1) истинная закалка; 2) улучшение; 3) неполный отжиг; 4) нормализация.

39. В чем сущность технологии ТМО?

при ТМО: 1) производится нагрев стали до аустенитного состояния; деформация металла в аустенитом состоянии, закалка и низкий отпуск; 2) осуществляется закалка деформированной стали.

40. Какой из видов ТМО может быть в современных условиях более перспективен для использования на машиностроительных заводах?

1) НТМО; 2) ВТМО.

4.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Неверно. Ни один из сплавов системы не претерпевает при нагреве вплоть до температуры плавления фазовых превращений и, следовательно, не может быть закален.

2) Неверно. Ни один из сплавов, лежащих в этом интервале, не претерпевает при нагреве вплоть до температуры плавления фазовых превращений и, следовательно, не может быть закален.

3) Правильно.

4) Неверно. Ни один из сплавов, лежащих в этом интервале, не претерпевает при нагреве вплоть до температуры плавления фазовых превращений и, следовательно, не может быть закален.

2. 1) Неверно. Отпускной хрупкостью называют снижение вязкости некоторых легированных сталей при отпуске при температурах 250 … 400 °С и 500… 550 °С.

2) Правильно.

3) Неверно. Аустенизацией называют процесс превращения исходной структуры сталей в аустенит при нагреве выше критических точек.

4) Неверно. Действительным зерном называют зерно, существующее в стали при данной температуре.

3. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

4. 1) Неверно. Эта скорость охлаждения ниже критической.

2) Неверно. Скорость охлаждения V_4 выше критической.

3) Правильно.

4) Неверно. Эта скорость охлаждения ниже критической.

5. 1) Правильно.

2) Неверно. Цементит – это химическое соединение – карбид железа с формулой Fe_3C.

3) Неверно. Феррит – это равновесный твердый раствор углерода в α-железе.

4) Неверно. Аустенит – это твердый раствор углерода в γ-железе.

6. 1) Неверно. Скорости охлаждения, при которых протекает аустенитно-перлитное превращение, ниже критических.

2) Правильно.

3) Неверно. В углеродистых сталях при закалке фиксируется не аустенит, а промежуточная фаза – мартенсит.

4) Неверно. Критическая скорость закалки зависит от состава стали, но не от сечения изделия.

7. 1) Неверно. Оба фактора имеют прямо противоположный характер.

2) Неверно. Мартенситное превращение сопровождается максимальными искажениями кристаллической решетки. Полнота аустенитно-мартенситного превращения не зависит от температуры аустенизации.

3) Неверно. Оба фактора имеют прямо противоположный характер.

4) Правильно.

8. 1) Неверно. Такая закономерность свойственна фазовым превращениям, протекающим при значительной диффузии атомов.

2) Правильно.

3) Неверно. Фазовые превращения не могут подчиняться подобным закономерностям.

4) Неверно. Учтите, что мартенситное превращение протекает по бездиффузионному механизму.

9. 1) Правильно.

2) Неверно. От скорости нагрева при аустенизации зависит температура перлитно-аустенитного превращения. На количество остаточного аустенита скорость нагрева не влияет.

3) Неверно. Однородность исходного аустенита влияет на характер аустенитно-перлитного превращения (образование зернистых или пластинчатых структур).

4) Неверно. Скорость охлаждения в области изгиба С-образных кривых определяет, какие структуры образуются при закалке (пластинчатые или игольчатые).

10. 1) Неверно. Температуре 727 °С отвечают критические точки A_1.

2) Температуры 727 … 1147 °С иногда относят к критическим точкам A_3. Однако обычно их называют A_m.

3) Правильно.

4) Неверно.

11. 1) Неверно.

2) Неверно. Такую температурную точку обычно обозначают $M_н$.

3) Неверно. Такому переходу соответствуют критические точки A_{c1}.

4) Правильно.

12. 1) Неверно. На линии *PSK* расположены критические точки A_1.

2) Правильно.

3) Неверно.

4) Неверно. На линии *GS* расположены критические точки A_3.

13. 1) Неверно. При истинной закалке фиксируется при нормальной температуре высокотемпературное состояние сплава. Для сталей истинная закалка не характерна.

2) Правильно.

3) Неверно. При неполной закалке нагрев ведут выше A_1 но ниже A_3 или A_m.

4) Неверно. При нормализации охлаждение ведут на спокойном воздухе.

14. 1) Правильно.

2) Неверно. Такую структуру имеет отожженная заэвтектоидная сталь.

3) Неверно. Такую структуру приобретает после закалки заэвтектоидная сталь.

4) Неверно. Такую структуру имеет доэвтектоидная сталь в отожженном состоянии.

15. 1) Неверно. Такие температуры отвечают полной закалке, заэвтектоидные же стали подвергают неполной закалке.

2) Неверно. Линия *ECF* лежит в области чугунов, а не сталей.

3) Неверно. Эвтектическая температура в системе $Fe-Fe_3C$ 1147 °С. В сталях при температурах около 1200 °С наблюдается интенсивный рост аустенитного зерна.

4) Правильно.

16. 1) Неверно. Образующийся при неполной закалке доэвтектоидных сталей мартенсит богаче углеродом, чем при полной.

2) Неверно. Тип образующихся при закалке структур зависит от скорости охлаждения стали.

3) Неверно. Глубина прокаливания стали зависит от ее состава и интенсивности охлаждения при закалке.

4) Правильно.

17. 1) Неверно. Эти температуры лежат ниже критических точек.

2) Правильно.

3) Неверно. При закалке от таких температур в структуре закаленной стали сохраняется некоторое количество феррита.

4) Неверно. При таких температурах интенсивно растет аустенитное зерно.

18. 1) Правильно.

2) Неверно. Эти температуры лежат ниже критических точек.

3) Неверно. При таких температурах интенсивно растет аустенитное зерно.

4) Неверно. Эти температуры несколько выше оптимальных температур закалки заэвтектоидных углеродистых сталей.

19. 1) Правильно.

2) Неверно. Мартенсит не может содержать углерода больше, чем исходный аустенит.

3) Неверно. Структура закаленной стали 45 почти полностью состоит из мартенсита. Куда же мог деться углерод ?

4) Неверно. Мартенсит не может содержать углерода больше, чем исходный аустенит.

20. 1) Неверно. Глубина проникновения закаленной зоны характеризует не закаливаемость, а прокаливаемость.

2) Неверно. Мартенситная структура не всегда характеризует закаливаемость, например не закаливаются низкоуглеродистые стали, тем

более не характеризует закаливаемость процесс образования мартенсита.

3) Неверно. Способность металла быстро прогреваться определяется его теплоемкостью и теплопроводностью.

4) Правильно.

21. 1) Правильно.

2) Неверно. При температуре 760 °С сплавы имеют качественно одинаковые, но количественно разнящиеся структуры. Это различие сохраняется и после закалки.

3) Неверно. При 760 °С оба сплава имеют двухфазную структуру с аустенитом одинакового состава, следовательно, и мартенсит в обоих сплавах одинаков.

4) Неверно. При 760 °С оба сплава имеют двухфазную структуру с аустенитом одинакового состава, следовательно, и мартенсит в обоих сплавах одинаков.

22. 1) Не влияет на температурный интервал мартенситного превращения, например, Si. Влияние же большинства легирующих элементов проявляется весьма отчетливо.

2) Некоторые элементы (A1, Co) действительно повышают мартенситную точку, однако большинство легирующих влияют на мартенситное превращение иначе.

3) Правильно.

4) Неверно.

23. 1) Неверно. В мартенсите столько же углерода, сколько в исходном аустените. Концентрация углерода 0,02 % соответствует техническому железу, но не заэвтектоидной стали.

2) Правильно.

3) Неверно. Мартенсит не может содержать углерода больше, чем исходный аустенит.

4) Неверно. Мартенсит не может содержать углерода больше, чем исходный аустенит (следует иметь в виду, что при температуре закалки заэвтектоидных сталей углерод распределен между аустенитом и вторичным цементитом).

24. 1) Неверно. Для различных охладителей (различных скоростей охлаждения) это окажутся различные диаметры.

2) Неверно. Для различных охладителей (различных скоростей охлаждения) это окажутся различные диаметры.

3) Неверно. Для различных охладителей (различных скоростей охлаждения) это окажутся различные диаметры.

4) Правильно.

25. 1) Распределение скорости охлаждения по сечению изделия определяется интенсивностью охлаждения его поверхности. Отсюда следует, что зависимость между интенсивностью охлаждения и прокаливаемостью вполне однозначна.

2) Неверно. Чем интенсивнее охлаждается поверхность изделия, тем на большей глубине вероятно достижение закритической скорости охлаждения и получение до этой глубины мартенситной структуры.

3) Распределение скорости охлаждения по сечению изделия определяется интенсивностью охлаждения его поверхности. Отсюда следует, что зависимость между интенсивностью охлаждения и прокаливаемостью вполне однозначна.

4) Правильно.

26. 1) Неверно. Глубина закаленного слоя зависит от скорости охлаждения стали. Максимальна скорость охлаждения в воде, минимальна – на воздухе.

2) Неверно. Глубина закаленного слоя зависит от скорости охлаждения стали. Максимальна скорость охлаждения в воде, минимальна – на воздухе.

3) Неверно. Глубина закаленного слоя зависит от скорости охлаждения стали. Максимальна скорость охлаждения в воде, минимальна — на воздухе.

4) Правильно.

27. 1) Неверно. При сквозном прокаливании по сечению изделия образуются однородные структуры, а следовательно, однородны и свойства.

2) Правильно.

3) Неверно. Однородную твердость по сечению изделия можно получить отпуском и в отсутствие сквозной прокаливаемости.

4) Неверно. Сокращение количества остаточного аустенита достигается обработкой холодом или многократным отпуском.

28. 1) Правильно.

2) Из элементов, растворенных в аустените, уменьшает прокаливаемость только Co. Уменьшают прокаливаемость нерастворенные в аустените карбиды Ti, Nb, V и др. Большинство легирующих элементов, растворенных в аустените, влияют иначе.

3) Неверно. Состав стали – фактор, в наибольшей степени влияющий на прокаливаемость.

4) Неверно. Прокаливаемость определятся составом стали и режимами закалки. Отпуск на прокаливаемость не влияет.

29. 1) Неверно.

2) Правильно.

3) Неверно. Обе характеристики связаны с прокаливаемостью сплавов. Связь между ними вполне однозначна.

4) Неверно. Обе характеристики связаны с прокаливаемостью сплавов. Связь между ними вполне однозначна.

30. 1) Неверно. При повторной закалке прокаливаемость не увеличивается, так как каждая последующая обработка снимает результаты предыдущей.

2) Неверно. При охлаждении крупных деталей в быстродействующих охладителях высока вероятность трещинообразования.

3) Неверно. При обработке холодом возрастает количество мартенсита, вследствие превращения остаточного аустенита. Прокаливаемость при этом не увеличивается.

4) Правильно.

31. 1) Неверно. Низкий отпуск дает наименьший прирост пластичности закаленной стали.

2) Правильно.

3) Неверно. Пластичность – структурно-чувствительное свойство. Характер же структуры отпущенной стали зависит от вида отпуска.

4) Неверно. Средний отпуск обычно сопровождается некоторым спадом нарастающей при нагреве пластичности стали.

32. 1) Неверно. При изотермической закалке образуется бейнит, имеющий игольчатую структуру.

2) Неверно. При закалке со скоростью выше критической образуется

мартенсит, обладающий игольчатой структурой.

3) Неверно. Нагрев при полном отжиге приводит к образованию однородного аустенита, превращающегося при охлаждении в пластинчатый перлит.

4) Правильно.

33. 1) Неверно. У углеродистых сталей влияние температуры отпуска на твердость прослеживается достаточно отчетливо.

2) Неверно. Чем выше температура отпуска, тем полнее протекает мартенситно-перлитное превращение. Мартенсит закаливаемых сталей значительно тверже перлита.

3) Правильно.

4) Неверно. При отпуске в стали протекают фазовые и структурные превращения, а изменение структуры всегда влечет за собой изменение свойств.

34. 1) Неверно. Нормализация состоит в нагреве сталей выше критических точек и охлаждении на спокойном воздухе.

2) Правильно.

3) Неверно. Сфероидизация – это одна из разновидностей отжига. Сфероидизацию применяют для получения структур с зернистым цементитом.

4) Неверно. Полная закалка стали – закалка из аустенитного состояния. Понятие полная закалка отпуска не включает.

35. 1) Неверно. Рекристаллизация состоит в обновлении структуры пластически деформированного металла путем рекристаллизационного отжига.

2) Неверно. Нормализация состоит в нагреве сталей выше критических точек и охлаждении на спокойном воздухе.

3) Неверно. Высокий отпуск состоит в нагреве закаленной стали до 600 … 650 °С, выдержке и охлаждении.

4) Правильно.

36. 1) Правильно.

2) Неверно. Полный отжиг применяют, как показывает название, для полной фазовой перекристаллизации.

3) Неверно. Сфероидизирующий отжиг применяют для получения структур с цементитом сферической формы.

4) Неверно. Диффузионный отжиг обычно применяют для

устранения дендритной ликвации.

37. 1) Правильно.

2) Неверно. Для снятия напряжений проводят низкий отжиг.

3) Неверно. Для этой цели, например для устранения Видманштеттовой структуры, применяют полный отжиг.

4) Неверно. Зернистые структуры получают в результате сфероидизирующего отжига либо в результате закалки и высокого или среднего отпуска.

38. 1) Неверно. При истинной закалке фиксируется при нормальной температуре высокотемпературное состояние сплава. Для сталей истинная закалка не характерна.

2) Неверно. Улучшением называют термическую обработку сталей, состоящую в закалке и последующем высоком отпуске.

3) Неверно. При неполном отжиге сталь нагревают выше A_1, но ниже A_3 или A_m. Охлаждение ведут вместе с печью.

4) Правильно.

39. 1) Правильно. В этом основная сущность процесса ТМО.

2) Ответ неточный. Этот ответ допускает деформацию материала в любых условиях.

40. 1) По-видимому, вы ошибаетесь. Для НТМО необходимо деформирование при пониженных температурах, что требует мощного прессового оборудования.

2) Правильно. Для реализации ВТМО главная проблема – обеспечить необходимую скорость охлаждения после изготовления деталей методом горячего прессования.

4.5. Задачи

4.1. Начертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 45-50 HRC. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений и какая структура получается в данном случае.

4.2. Как изменяются структура и свойства стали 40 и У12 в результате

закалки от температуры 750 и 850 °С. Объясните с применением диаграммы состояния железо-цементит. Выберите оптимальный режим нагрева под закалку каждой стали.

Используя диаграмму состояния железо-цементит и кривую изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, назначьте для углеродистой стали 40 температуру закалки и температуру отпуска, необходимые для обеспечения твердости 400 НВ. Опишите превращения на всех этапах термической обработки и получаемую структуру.

4.5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит обоснуйте выбор режима термической обработки, применяемой для устранения цементитной сетки в заэвтектоидной стали. Дайте определение выбранного режима обработки и опишите превращения, которые происходят при нагреве и охлаждении.

4.6. После термической обработки углеродистой стали получена структура цементит + мартенсит отпуска. Нанесите на диаграмму состояния железо-цементит ординату заданной стали (примерно) и обоснуйте температуру нагрева этой стали под закалку. Также укажите температуру отпуска. Опишите превращения, которые произошли при термической обработке.

4.7. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит + мартенсит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите интервалы температур превращений и опишите характер превращения в каждом из них.

4.8. С помощью диаграммы состояния железо - цементит установите температуру полной и неполной закалки для стали 45 и опишите структуру и свойства стали после каждого вида термической обработки.

4.9. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 200 НВ. Укажите, как этот режим называется и какая структура получается в этом случае.

4.10. Используя диаграмму состояния железо-цементит, установите температуры нормализации, отжига и закалки для стали У12. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и

свойства стали после каждого вида обработки.

4.11. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют твердость 45 HRC и 60 HRC соответственно, и структуру мартенсит отпуска. Используя диаграмму состояния железо - цементит и учитывая превращения, происходящие при отпуске, укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, и объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

4.12. Сталь 40 подвергалась закалке от температур 760 и 840 ºС. С помощью диаграммы состояния железо-цементит укажите, какие структуры образуются в каждом случае. Объясните причины образования разных структур и рекомендуйте оптимальный режим нагрева под закалку данной стали.

4.13. С помощью диаграммы состояния железо-цементит установите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали.

4.14. Почему для изготовления инструмента применяется сталь с исходной структурой зернистого перлита? В результате какой термической обработки можно получить эту структуру? Приведите конкретный режим для любой инструментальной стали.

4.15. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима термической обработки, обеспечивающей получение твердости 60-63 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура при этом получается. Опишите сущность происходящих превращений.

4.16. С помощью диаграммы состояния железо-цементит опишите структурные превращения, происходящие при нагреве доэвтектоидной стали. Покажите критические точки A_1 и A_3 для выбранной вами стали. Установите режим нагрева этой стали под закалку. Охарактеризуйте процесс закалки, опишите получаемую структуру и свойства стали.

4.17. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости 50 HRC. Укажите, как этот режим

называется, опишите сущность превращения и какая структура получается в данном случае.

4.18. С помощью диаграммы состояния железо-цементит опишите структурные превращения, происходящие при нагреве стали У12. Укажите критические точки и выберите оптимальный режим нагрева этой стали под закалку. Охарактеризуйте процесс закалки, опишите получаемую структуру и свойства стали.

4.19. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали и нанесите на нее кривую режима изотермического отжига. Опишите превращения и получаемую после такой обработки структуру, ее свойства.

4.20. Используя диаграмму состояния железо-цементит, определите температуру полной и неполной закалки для стали 40. Дайте описание структуры и свойств стали после каждого вида термической обработки.

4.21.Режущий инструмент требуется обработать на максимальную твердость. Для его изготовления выбрана сталь У13А. Назначьте режим термической обработки, опишите структуру и свойства стали.

5. СИСТЕМА ЖЕЛЕЗО – УГЛЕРОД

5.1. Методические указания

Железоуглеродистые сплавы являются наиболее часто применяемым в промышленности конструкционным материалом. Поэтому знание диаграммы состояния системы «железо-углерод», описывающей строение сталей и чугунов, является необходимым. Рассмотрение диаграммы следует начать с анализа всех превращений, протекающих в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и получающихся при этом структур. Особое внимание следует обратить на превращения в твердом состоянии. Научитесь определять все фазы и структурные составляющие этой системы.

Легирующим элементом в рассматриваемой системе является углерод. Его содержание во многом определяет свойства сплавов. Разберитесь в классификации железоуглеродистых сплавов и усвойте, что различие между тремя классами (техническое железо, сталь, чугун) не является формальным (по содержанию углерода). Разные классы сплавов принципиально различны по структуре и свойствам. Технические железоуглеродистые сплавы состоят не только из железа и углерода, но и обязательно содержат постоянные примеси, попадающие в сплав в результате предыдущих операций при выплавке.

Изучите влияние легирующих элементов на критические точки железа и стали и объясните, при каком сочетании углерода и соответствующего легирующего элемента могут быть получены легированные стали ферритного, перлитного, аустенитного и ледебуритного классов.

Изучая часть диаграммы с образованием чугуна, уясните для себя, какие чугуны называются белыми, а какие - серыми. Содержание углерода в них может быть одинаковым, однако состояние углерода различно. Металлическая основа может быть перлитной или ферритной. Для чугунов важно представлять влияние формы графитовых включений на их свойства.

Особое внимание нужно уделить маркировке сталей и чугунов по ГОСТ. Ее знание позволяет правильно и оперативно осуществлять подбор материала для восстановления или изготовления детали.

5.2. Краткие теоретические сведения

Сплавы на основе железа в настоящее время остаются основными конструкционными материалами, из которых изготовляется более 90 % деталей.

Железо является переходным металлом, имеет недостроенную *d*-электронную оболочку. Поэтому для железа характерен смешанный тип связей между атомами, что проявляется в высокой температуре плавления и высоком значении модуля упругости. Наличие высокого модуля упругости железа проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

Технически чистым считается железо чистотой 99,8 % .

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях: при комнатной температуре железо имеет ОЦК решетку и обозначается как α-Fe. При температуре 911 °С происходит первое полиморфное превращение. Решетка железа перестраивается в ГЦК решетку. Это модификация обозначается γ- Fe. Критическую температуру 911 °С превращения α↔γ обозначают A_3, а температуру 1392 °С превращения α↔γ обозначают A_4.

При температуре 1392 °С происходит второе полиморфное превращение. Решетка железа снова перестраивается в О. Ц. К. решетку, но с другими параметрами. Высокотемпературная модификация не представляет собой новой аллотропической формы и обозначается δ- Fe.

Железо образует сплавы со многими элементами, но во всех сплавах железа всегда присутствует углерод.

Основными фазами в сплавах железа являются:

1. *Железо* – металл серого цвета с температурой плавления 1539 °С. Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью ($\sigma_в$ = 250 МПа, $\sigma_т$ = 120 МПа) и высокими характеристиками пластичности (δ = 50 %, ψ = 80 %). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

2. *Феррит* (Ф) – твердый раствор углерода в α-Fe. Это наиболее пластичная, но малопрочная фаза ($\sigma_в$ = 250-300 МПа; δ = 50 %, твердость – 130 *НВ*). Содержание углерода в феррите 0,006 – 0,02 %.

3. *Аустенит* (А) – твердый раствор углерода в γ-Fe и существует

только при температурах выше 727 °С. Это наиболее пластичная фаза после феррита ($\sigma_в$ = 300 МПа; твердость ≈ 250 НВ, δ = 40 %). Содержание углерода в аустените 0,8 – 2,14 %.

4. *Цементит* (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа – Fe_3C). Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность, содержит 6,67 % углерода. Температура плавления цементита 1550 °С.

5. *Перлит* (П) – механическая смесь феррита и цементита. Характеризуется небольшой твердостью 200 НВ и пластичностью δ ≈ 15 % , но хорошей прочностью $\sigma_в$ = 600-800 МПа. Содержание углерода 0,83 %.

6. *Ледебурит* (Л) – механическая смесь аустенита и цементита. Характеризуется высокой твердостью 500 *HB* и малой пластичностью. Содержание углерода 4,3 %. В системе железо-углерод является эвтектикой.

Первичная кристаллизация.

1. Сплав с содержанием углерода 0 – 2,14 %. При пересечении линии ликвидус *AC* начинается кристаллизация и образуется первый кристалл аустенита. В области *AEC* находится смесь жидкого раствора и твердого раствора - аустенита. Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус *AC*, а состав твердой фазы – по линии солидус *AE*. При пересечении линии солидус *AE* первичная кристаллизация заканчивается и далее охлаждается твердая фаза – кристаллы твердого раствора аустенита.

2. Сплав с содержанием углерода 2,14 – 4,3 %. При пересечении линии ликвидус *AC* начинается кристаллизация и образуется первый кристалл аустенита. В области *AEC* находится смесь жидкого раствора и твердого раствора - аустенита. Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус *AC*, и последняя капля жидкости затвердевает в точке *C* с образованием эвтектики – ледебурита. Состав твердой фазы изменяется по линии солидус *AE* и заканчивается в точке *E* с образованием кристаллов аустенита, содержащих максимальное количество углерода. При пересечении линии солидус *AEC* первичная кристаллизация заканчивается и окончательно имеем сплав состава А + Л.

3. Сплав с содержанием углерода – 4,3 %. Первичная кристаллизация начинается и заканчивается в точке *C* с образованием эвтектики – ледебурита.

4. Сплав с содержанием углерода 4,3 – 6,67 %. При пересечении линии

ликвидус *CD* начинается кристаллизация и образуется первый кристалл цементита. В области *CDF* находится смесь жидкого раствора и кристаллов цементита. Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус *CD* и последняя капля жидкости затвердевает в точке *C* с образованием эвтектики – ледебурита. Состав твердой фазы – химического соединения цементит не изменяется.

При пересечении линии солидус *CF* первичная кристаллизация заканчивается, и окончательно имеем сплав состава Ц + Л.

5. Сплав с содержанием углерода 6,67 %. Сплав соответствует химическому соединению цементит.

Вторичная кристаллизация.

После окончания первичной кристаллизации охлаждение сплавов продолжается.

1.1. Сплав с содержанием углерода 0 – 0,02 %. Аустенит охлаждается до точки *G*. В точке *G* начинается и заканчивается вторичная кристаллизация с образованием феррита, который далее охлаждается до комнатной температуры.

1.2. Сплав с содержанием углерода 0,02 – 0,83 %. Аустенит охлаждается до пересечения с линией *GS*. При пересечении линии *GS* начинается вторичная кристаллизация и образуется первый кристалл феррита. В области *GPS* находится смесь твердого раствора и твердого раствора феррита. Состав аустенита изменяется по линии *GS* и последний кристалл аустенита в точке *S* превращается в перлит. Состав феррита изменяется по линии *GP* и заканчивается в точке *P* с образованием кристаллов феррита, содержащих максимальное количество углерода. При пересечении линии *PSK* вторичная кристаллизация заканчивается, и окончательно имеем Ф + П.

1.3. Сплав с содержанием углерода 0,83 %. Вторичная кристаллизация начинается и заканчивается в точке *S* , а весь аустенит превращается в перлит.

1.4. Сплав с содержанием углерода 0,83 – 2,14 %. Аустенит охлаждается. При понижении температуры растворимость углерода в аустените уменьшается в соответствии с линией предельной растворимости углерода в аустените *ES* и раствор становится пересыщенным по углероду. Лишний углерод выделяется из аустенита в виде цементита вторичного ($Ц_{II}$). Состав аустенита обедняется по углероду и изменяется по линии *ES*. Последний кристалл аустенита в точке *S* превращается в перлит. При

пересечении линии *PSK* вторичная кристаллизация заканчивается, и окончательно имеем сплав состава П + $Ц_{II}$.

2.1. Сплав с содержанием углерода 2,14 – 4,3 %. Сплав состава А + Л охлаждается. При понижении температуры растворимость углерода в аустените уменьшается в соответствии с линией предельной растворимости углерода в аустените *ES* и раствор становится пересыщенным по углероду. Лишний углерод выделяется из аустенита в виде цементита вторичного ($Ц_{II}$). Состав аустенита обедняется по углероду и изменяется по линии *ES*. Последний кристалл аустенита в точке *S* превращается в перлит. При пересечении линии *PSK* вторичная кристаллизация заканчивается и окончательно имеем сплав состава П + Л + $Ц_{II}$.

3.1. Сплав с содержанием углерода – 4,3 %. При пересечении линии *PSK* вторичная кристаллизация начинается и заканчивается. Ледебурит охлаждается до комнатной температуры.

4.1. Сплав с содержанием углерода 4,3 – 6,67 %. При пересечении линии *PSK* вторичная кристаллизация начинается и заканчивается. Сплав состава Ц + Л охлаждается до комнатной температуры.

5.1. Сплав химическое соединение – цементит охлаждается до комнатной температуры.

Классификация сплавов в системе железа.

Все сплавы в системе железа делятся по содержанию углерода. Сплавы с содержанием углерода до 2,14 % – стали. Сплавы с содержанием углерода более 2,14 % – чугуны.

В свою очередь, стали и чугуны подразделяются относительно положения эвтектоидной и эвтектической точек:

Сталь:

до точки *S* – доэвтектоидная сталь;

соответствует точке *S* – эвтектоидная сталь;

за точкой *S* – заэвтектоидная сталь.

Чугун:

до точки *C* – доэвтектический чугун;

соответствует точке *C* – эвтектический чугун;

за точкой *C* – заэвтектический чугун.

5.3. Вопросы

1. Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в α-железе?

1) перлит; 2) цементит; 3) феррит; 4) аустенит.

2. Как называется структура, представляющая собой твердый раствор углерода в γ-железе?

1) цементит; 2) феррит; 3) аустенит; 4) ледебурит.

3. Как называется структура, представляющая собой карбид железа - Fe_3C?

1) феррит; 2) аустенит; 3) ледебурит; 4) цементит.

4. Как называется структура, представляющая собой механическую смесь феррита и цементита?

1) перлит; 2) δ-феррит; 3) аустенит; 4) ледебурит.

5. Как называется структура, представляющая собой механическую смесь аустенита и цементита?

1) перлит; 2) феррит; 3) ледебурит; 4) δ-феррит.

5. На каком участке диаграммы железо-цементит протекает эвтектоидная реакция?

1) в области *QPSKL;* 2) в области *SECFK;* 3) на линии *ECF;* 4) на линии *PSK.*

7. На каком участке диаграммы железо-цементит протекает эвтектическая реакция?

1) на линии *ECF*; 2) в области *SECFK*; 3) в области *EAC*; 4) на линии *PSK.*

8. Какая из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов обладает при комнатной температуре наибольшей пластичностью?

1) аустенит; 2) феррит; 3) цементит; 4) перлит.

9. Какая из структурных составляющих железоуглеродистых сплавов обладает наибольшей твердостью?

1) аустенит; 2) перлит; 3) феррит; 4) цементит.

10. Сколько процентов углерода (С) содержится в углеродистой заэвтектоидной стали ?

1) $0,02 < C < 0,8$; 2) $4,3 < C < 6,67$; 3) $2,14 < C < 4,3$; 4) $0,8 < C < 2,14$.

11. Каков структурный состав заэвтектоидной стали при температуре ниже 727 °С?

1) ледебурит + первичный цементит; 2) феррит + третичный цементит; 3) перлит + вторичный цементит; 4) феррит + перлит.

12**.** На рис. 5.1. представлена схема структуры стали. Какая это сталь?

1) техническое железо; 2) эвтектоидная; 3) заэвтектоидная; 4) доэвтектоидная.

13. На рис. 5.2. представлена схема структуры доэвтектоидной стали. Как называется структурная составляющая, помеченная знаком вопроса?

1) феррит; 2) аустенит;. 3) вторичный цементит; 4) перлит.

14. Какие железоуглеродистые сплавы называют чугунами?

1) содержащие углерода более 0,8 %*;* 2) содержащие углерода более 4,3 %; 3) содержащие углерода более 0,02 %; 4) содержащие углерода более 2,14 %.

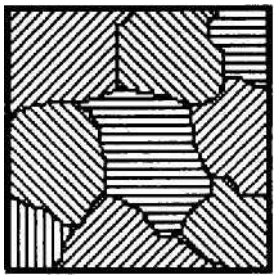


Рис. 5.1. Схема структуры стали

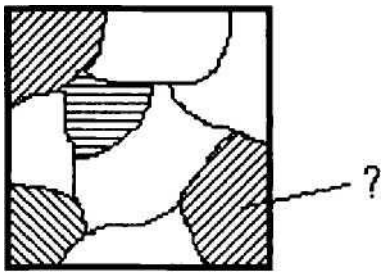


Рис. 5.2. Схема структуры доэвтектоидной стали

15. Какой чугун называют белым?

1) в котором весь углерод или часть его содержится в виде графита; 2) в котором весь углерод находится в химически связанном состоянии; 3) в котором металлическая основа состоит из феррита; 4) в котором наряду с графитом содержится ледебурит.

16. Какова форма графита в белом чугуне?

1) хлопьевидная; 2) в белом чугуне графита нет; 3) шаровидная; 4) пластинчатая.

17. В доэвтектических белых чугунах при температуре ниже 727 °С присутствуют две фазовые составляющие: цементит и ... . Как называется вторая фаза?

1) феррит; 2) аустенит; 3) ледебурит; 4) перлит.

18. В каком из перечисленных в ответе сплавов одной из структурных составляющих является ледебурит?

1) доэвтектический белый чугун; 2) сталь при температуре, выше температуры эвтектоидного превращения; 3) ферритный серый чугун; 4) техническое железо.

19. Как по микроструктуре чугуна определяют его вид (серый, ковкий, высокопрочный)?

1) по размеру графитных включений; 2) по характеру металлической основы; 3) по форме графитных включений; 4) по количеству графитных включений.

20. Как по микроструктуре чугуна определяют его вид (ферритный, ферритно-перлитный, перлитный)?

1) по размеру графитных включений; 2) по количеству графитных включений; 3) по форме графитных включений; 4) по характеру металлической основы.

21. Какие железоуглеродистые сплавы называют ферритными чугунами?

1) сплавы, в которых весь углерод (более 2,14 %) находится в виде графита; 2) чугуны, в структуре которых наряду с цементитом имеется феррит; 3) сплавы с ферритной структурой; 4) чугуны, в которых графит имеет пластинчатую форму.

22. Сколько содержит связанного углерода ферритный серый чугун?

1) 4,3 %; 2) 0,0 %; 3) 2,14 %; 4) 0,8 %.

23. Сколько связанного углерода содержит перлитный серый чугун?

1) 2,14 %; 2) 0,8 %; 3) 4,3 %; 4) 0 %.

24. В каком из ответов чугуны с одинаковой металлической основой размещены в порядке возрастания прочности при растяжении?

1) высокопрочный-ковкий-серый; 2) серый-высокопрочный-ковкий; 3) ковкий-высокопрочный-серый; 4) серый-ковкий-высокопрочный.

25. На рис. 5.3. представлена схема структуры железоуглеродистого сплава. Какой это сплав?

1) техническое железо; 2) ферритный серый чугун; 3) заэвтектический белый чугун; 4) эвтектоидная сталь.

26. В поле микроскопа (рис. 5.4) на фоне равноосных светлых зерен

видны шаровидные включения графита. О каком сплаве идет речь?

1) о ферритном высокопрочном чугуне; 2) о текстурованном техническом железе; 3) о ферритно-перлитном ковком чугуне; 4) о доэвтектическом белом чугуне.

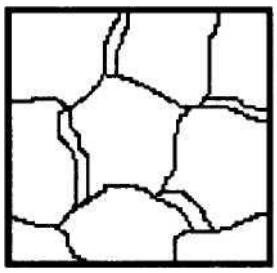


Рис. 5.3. Схема структуры железоуглеродистого сплава

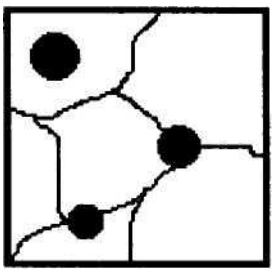


Рис. 5.4. Шаровидные включения графита

27. Какой чугун получают путем длительного отжига белого чугуна?

1) ковкий; 2) отбеленный; 3) серый; 4) высокопрочный.

28. Какой чугун получают путем модифицирования жидкого расплава магнием или церием?

1) серый; 2) белый; 3) высокопрочный; 4) ковкий.

29. У какого чугуна будут лучшие механические свойства?

Чугун с 1) хлопьевидным графитом; 2) без графита; 3) шаровидным графитом; 4) пластинчатым графитом.

30. Как зависит температура рекристаллизации металла от его чистоты?

1) чем чище металл, тем выше температура рекристаллизации; 2) температура рекристаллизации не зависит от чистоты металла; 3) для металлов зависимость имеет знак плюс (чем чище металл, тем выше температура), для легированных сплавов – минус; 4) Чем чище металл, тем ниже температура рекристаллизации.

5.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Неверно. Перлит - это эвтектоидная смесь, одной из составляющих которой является твердый раствор углерода в α-Fe.

2) Неверно. Цементит - это химическое соединение - карбид железа с

формулой Fe_3C.

3) Правильно.

4) Неверно. Аустенит - это твердый раствор углерода в γ-железе.

2. 1) Неверно. Цементит - это химическое соединение - карбид железа с формулой Fe_3C.

2) Неверно. Феррит - это твердый раствор углерода в α-железе.

3) Правильно.

4) Неверно. Ледебурит - это эвтектика, одной из составляющих которой является твердый раствор углерода в γ-железе (при температурах выше 727 °С).

3. 1) Неверно. Феррит - это твердый раствор углерода в α-Fe.

2) Неверно. Аустенит - это твердый раствор углерода в γ-железе.

3) Неверно. Ледебурит - это эвтектическая смесь, состоящая из аустенита и цементита (в интервале температур 1147 ... 727 °С) или из перлита и цементита (ниже 727 °С).

4) Правильно.

4. 1) Правильно.

2) Неверно. 6-феррит - это твердый раствор углерода в δ-железе.

3) Неверно. Аустенит - это твердый раствор углерода в γ-железе.

4) Неверно. Ледебурит - это эвтектическая смесь, состоящая из аустенита и цементита (в интервале температур 1147 ... 727 °С) или из перлита и цементита (ниже 727 °С).

5. 1) Неверно. Перлит - это механическая смесь феррита и цементита.

2) Неверно. Феррит.- это твердый раствор углерода в α-железе.

3) Правильно.

4) Неверно, δ-феррит - это твердый раствор углерода в δ-железе.

6. 1) Неверно. В этой области диаграммы эвтектоидная реакция уже завершена.

2) Неверно. В области *SECFK* эвтектоидная реакция еще не начинается.

3) Неверно. На линии *ECF* протекает эвтектическая реакция.

4) Правильно.

7. 1) Правильно.

7. 2) Неверно. В этой области диаграммы эвтектическая реакция уже

завершена.

7. 3) Неверно. *EAC* - область диаграммы, в которой находятся в равновесии жидкость и кристаллы аустенита.

7. 4) Неверно. На линии *PSK* протекает эвтектоидная реакция.

8. 1) Аустенит действительно наиболее пластичная структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, но он существует лишь при температурах, выше 727 °С.

8. 2) Правильно.

3) Неверно. Цементит – самая хрупкая структурная составляющая железоуглеродистых сплавов.

4) Неверно. Перлит - это механическая смесь двух фаз, одна из которых весьма пластична, а другая - хрупкая.

9. 1) Неверно. Твердость аустенита 1600 ... 2000 НВ, а самой твердой структурной составляющей - 8000 *HB*.

2) Неверно. Твердость перлита около 3000 НВ, а самой твердой структурной составляющей - 8000 *HB*.

3) Неверно. Феррит - самая мягкая структурная составляющая железоуглеродистых сплавов. Его твердость 650 ... 1300 НВ.

4) Правильно.

10. 1) Неверно. Таково содержание углерода в доэвтектоидных сталях.

2) Неверно. Таково содержание углерода в заэвтектических чугунах.

3) Неверно. Таково содержание углерода в доэвтектических чугунах.

4) Правильно.

11. 1) Неверно. Таким структурным составом обладают заэвтектические белые чугуны.

2) Неверно. Такой структурный состав имеют сплавы типа технического железа.

3) Правильно.

4) Неверно. Такой структурный состав имеют доэвтектоидные стали.

12. 1) Неверно. Структура технического железа состоит из феррита и третичного цементита. Перлита в ней нет.

2) Правильно.

3) Неверно. В структуре заэвтектоидной стали кроме перлита присутствует вторичный цементит.

4) Неверно. В структуре доэвтектоидной стали кроме перлита присутствует феррит.

13. 1) Неверно. Феррит после травления сплава выглядит как светлая структурная составляющая.

2) Неверно. В железоуглеродистых сплавах аустенит существует лишь при температурах, выше 727 °С.

3) Неверно. В доэвтектоидных сталях нет структурно свободного цементита.

4) Правильно.

14. 1) Неверно. Сплавы с концентрацией углерода в интервале от 0,8 до 2,14 % называют заэвтектоидными сталями.

2) Действительно, такие сплавы относятся к чугунам, однако интервал возможных в чугунах концентраций углерода занижен. Ищите более полный ответ.

3) Неверно. Сплавы с концентрацией углерода в интервале 0,02 ... 0,8 % называют доэвтектоидными сталями.

4) Правильно.

15. 1) Неверно. Весь углерод или часть его содержится в виде графита в чугунах со структурно свободным углеродом (сером, ковком, высокопрочном, половинчатом).

2) Правильно.

3) Неверно. Металлическая основа состоит из феррита в ферритных чугунах со структурно свободным углеродом.

4) Неверно. Чугуны, в которых наряду с графитом содержится ледебурит, называются половинчатыми.

16. 1) Неверно. Графит хлопьевидной формы содержится в ковких чугунах.

2) Правильно.

3) Неверно. Графит шаровидной формы содержится в высокопрочных чугунах.

4) Неверно. Графит пластинчатой формы содержится в серых чугунах.

17. 1) Правильно.

2) Неверно. В железоуглеродистых сплавах аустенит существует лишь при температурах выше 727 °С.

3) Неверно. Ледебурит - это структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, состоящая из двух фаз: аустенита и цементита или феррита и цементита.

4) Неверно. Перлит - это структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, состоящая из двух фаз: феррита и цементита.

18. 1) Правильно.

2) Неверно. При температуре выше эвтектоидного превращения сталь состоит из феррита и аустенита, аустенита или аустенита и цементита.

3) Неверно. Структурными составляющими ферритного серого чугуна являются феррит и пластинчатый графит.

4) Неверно. Структурными составляющими технического железа являются феррит и третичный цементит.

19. 1) Неверно. Размер или количество графитовых включений определяют свойства чугунов, но не их вид.

2) По характеру металлической основы определяют разновидность чугунов (ферритный, ферритно-перлитный, перлитный).

3) Правильно.

4) Неверно. Размер или количество графитовых включений определяют свойства чугунов, но не их вид.

20. 1) Неверно. Размер или количество графитовых включений определяют свойства чугунов, но не их вид.

2) Неверно. Размер или количество графитовых включений определяют свойства чугунов, но не их вид.

3) Неверно. По форме графитных включений определяют разновидность чугунов (серый, ковкий, высокопрочный).

4) Правильно.

20. 1) Правильно.

2) Чугуны со структурно свободным цементитом относятся к белым чугунам. Феррит в них может появиться в результате отжига, но такой чугун не относится к ферритным.

3) Неверно. В структуре чугуна помимо металлической основы

должна быть высокоуглеродистая фаза.

4) Чугуны, в которых графит имеет пластинчатую форму, называют серыми.

22. 1) Неверно. В ферритных чугунах нет связанного углерода.

2) Правильно.

3) Неверно. В ферритных чугунах нет связанного углерода.

4) Неверно. 0,8 % связанного углерода содержится в перлитных чугунах. В ферритных чугунах связанного углерода нет.

23. 1) Неверно. Перлит не может содержать такого количества углерода.

2) Правильно.

3) Неверно. Перлит не может содержать такого количества углерода.

4) Неверно. Не содержат связанного углерода ферритные чугуны.

24. 1) Неверно. Вы выбрали порядок, при котором прочность чугунов на растяжение... убывает.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

25. 1) Правильно.

2) Неверно. В структуре серых чугунов присутствует пластинчатый графит.

3) Неверно. Характерной структурной составляющей белых чугунов является ледебурит.

4) Неверно. Структура эвтектоидной стали состоит из перлита.

26. 1) Правильно.

2) Неверно. В техническом железе нет графита.

3) Неверно. В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную форму, к тому же при ферритно-перлитной металлической основе фон состоит не только из светлых зерен.

4) Неверно. В белых чугунах нет графита.

27. 1) Правильно.

2) Неверно. Отбеленный чугун получают при ускоренном охлаждении отливок в поверхностных слоях и более медленном - в сердцевинных участках.

3) Неверно. Серый чугун получают путем замедленного охлаждения

жидкости.

4) Неверно. Высокопрочные чугуны получают путем модифицирования жидкости магнием или церием.

28. 1) Неверно. Серый чугун получают путем замедленного охлаждения жидкости.

2) Неверно. Белый чугун получают путем ускоренного охлаждения жидкости.

3) Правильно.

4) Неверно. Ковкие чугуны получают путем длительного отжига низкокремнистых белых чугунов.

29. 1) Неверно

2) Неверно. Чугун без графита (белый) характеризуется высокой прочностью, твердостью и хрупкостью.

3) Правильно.

4) Неверно. Чугун с пластинчатым графитом имеет самые низкие механические свойства из всех чугунов с графитом.

30. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Неверно.

5.5. Задачи

5.1. При изучении микроструктуры сплава под микроскопом установлено, что структура состоит из 40 % феррита и 60 % перлита. Сколько примерно углерода в составе сплава?

5.2. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,5 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.3. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 0,7 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.4. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для

сплава железа, содержащего 4,8 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.5. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава железа, содержащего 1,4 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.6. Начертите диаграмму состояния железо - углерод, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 4,5 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.7. Сталь 40 подвергалась закалке от температур 750 и 830 ^{o}С. Используя диаграммы состояния железо-цементит, укажите выбранные температуры нагрева и опишите превращения, которые произошли при двух режимах закалки. Какому режиму следует отдать предпочтение и почему?

5.8. Вычертите диаграмму состояния железо-карбид железа, укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы, опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 5,2 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.9. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 0,45 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.10. Опишите превращения и постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) для сплава, содержащего 3,2 % С. Какова структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

5.11. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей твердость 20...25 HRC. Укажите, как этот режим называется и какая структура образуется в данном случае.

6. ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

6.1. Методические указания

При изучении темы необходимо обратить внимание, какое влияние оказывают различные внешние воздействия на материал поверхностного слоя детали и механизм формирования структуры металла при разных методах упрочнения.

Обратите внимание на различие процессов объемной и поверхностной закалки.

Каждый вид химико-термической обработки имеет свою область применения, определенные достоинства и недостатки. Разберитесь в технологии проведения отдельных видов химико-термической обработки. Уясните преимущества и области использования цементации, азотирования, цианирования и различных видов диффузионной металлизации. Следует понимать принципиальное отличие диффузионного насыщения поверхности металлами от нанесения гальванических покрытий, а главное - назначение каждого метода. При изучении каждого вида химико-термической обработки следует обратить внимание на возможные виды брака, способы его предотвращения и устранения, а также на наиболее удачные варианты для каждого метода химико-термической обработки и конечные результаты.

Рассмотрите сущность и назначение пластической деформации поверхностного слоя и его влияния на эксплуатационные свойства деталей.

Нужно иметь представление о новых методах упрочнения деталей: термомеханическом, ультразвуковом, магнитной обработке.

6.2. Краткие теоретические сведения

Между физико-механическими характеристиками рабочих поверхностей деталей и долговечностью этих деталей существует тесная взаимосвязь. Часто бывает необходимо иметь прочную, твердую, износостойкую поверхность и мягкую, вязкую сердцевину.

Упрочнение пластической деформацией заключается в наклепе поверхностного слоя на глубину 0,2…0,4 мм. Цель – повышение усталостной прочности.

Обкатка роликами или шариками. Деформация осуществляется давлением ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия. При усилиях на ролик, превышающих предел текучести

обрабатываемого материала, происходит наклеп на нужную глубину. Обработка повышает предел усталости и долговечность изделия. Обкатка роликами применяется при обработке шеек валов, проволоки, при калибровке труб, прутков. Не требуется специальное оборудование, можно использовать токарные станки.

Дробеструйная обработка – обработка стальной или чугунной дробью поверхности деталей. Применяют для упрочнения пружин, рессор, зубчатых колес, а также для упрочнения деталей в канавках и на выступах.

Поверхностная закалка заключается в создании на поверхности детали слоя с мартенситной структурой. В результате увеличивается твердость, износостойкость и предел выносливости.

Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Особенностью процесса является проведение быстрого нагрева поверхности, чтобы внутренние слои детали не успели нагреться.

Способы поверхностной закалки различаются методами нагрева деталей. В зависимости от способа нагрева и габаритов детали толщина закаленного слоя при поверхностной закалке составляет 0,1-10 мм.

Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ), сканирование поверхности лучом лазера и газопламенный нагрев для крупногабаритных деталей.

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя детали. Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате его насыщения элементами в атомарном состоянии путем их диффузии из внешнего источника при высокой температуре. ХТО может проводиться в твердой, жидкой и газовой средах. Толщина обработанного слоя определяется температурой, временем и природой насыщающего элемента.

Цементация – процесс насыщения поверхностного слоя стали атомами углерода, содержание которого в поверхностном слое достигает до 1 %. Поэтому цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25 %). На практике применяют цементацию в твердом, жидком и газовом карбюризаторе. Глубина цементации составляет 1-2 мм, температура процесса 900-950 ^{o}C, время 6-15 часов. Подобрав режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины.

После цементации обязательно проводится закалка с низким отпуском. Твердость поверхностного слоя после цементации повышается только при последующей закалке, сердцевина при этом остается вязкой, так как стали с малым содержанием углерода практически не закаливаются.

Азотирование – процесс насыщения поверхностного слоя стали атомами азота. Азотирование проводят для повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости. Обычно азотирование проводят в печах в атмосфере аммиака. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака. При азотировании образуется несколько фаз: твердый раствор азота в α-Fe, нитрид железа Fe_3N, твердый раствор азота в нитриде железа.

Содержание азота в поверхностном слое составляет 10…12 %, толщина слоя (h) – 0,3…0,6 мм, температура процесса 500…550 °С в течение 30…90 часов. На поверхности получают твердость ≈ 1000 HV.

Перед азотированием проводят закалку с высоким отпуском. После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

Достоинства азотирования в том, что свойства слоя формируются в процессе насыщения и твердость не снижается при повторных нагревах до температуры азотирования (500-600 °С), при этом увеличивается сопротивление износу и коррозии в средах слабой агрессивности. Недостатки - малая глубина упрочненного слоя и длительность обработки.

Цианирование – процесс насыщения поверхностного слоя стали одновременно атомами углерода и азота в жидкой среде. Осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например NaCN с добавками солей NaCl, BaCl и др. Глубина слоя 0,15-2 мм, температура процесса 800-950 °С, время 0,5-2 часа. Цианированный слой обладает высокой твердостью 5-62 HRC и хорошо сопротивляется износу. Повышаются усталостная прочность и коррозионная стойкость.

По сравнению с цементацией цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивая большую твердость и сопротивление износу.

Недостаток - высокая токсичность цианистых солей.

Нитроцементация – процесс насыщения поверхностного слоя стали одновременно атомами углерода и азота в газовой среде в атмосфере из углеродсодержащих газов и аммиака.

Глубина слоя 0,2-0,3 мм, температура процесса 530…570 °С, время 1,5…3 часа. Структура нитроцементованного слоя состоит из мелкокристаллического мартенсита, мелких, равномерно распределенных карбонитридов и остаточного аустенита. Твердость поверхностного слоя 900-1200 *HV*.

Нитроцементация характеризуется безопасностью в работе. Завершающей термической обработкой является закалка с низким отпуском.

Борирование – процесс насыщения поверхностного слоя стали атомами бора. Проводится в жидкой и газовой средах. Жидкая среда – при электролизе расплава буры. Газовая – в смеси 3-хлоритового бора BCl_3 и водорода H_2 или в диборане H_2B при температуре 930-950 °С.

Диффузионный слой состоит из боридов FeB и Fe_2B толщиной 0,1-0,2 мм с очень высокой твердостью 1800-2000 HB, что обеспечивает высокую износостойкость при абразивном износе и коррозионную стойкость. Применяется для обработки втулок грязевых насосов и других деталей, подвергающихся истирающему абразивному износу.

Диффузионная металлизация – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных изделий насыщается атомами металлов. Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

Алитирование – процесс насыщения поверхности стали атомами алюминия. Алитирование в твердой среде проводится в смеси порошков ферроалюминия, оксида алюминия AlO_3 и хлористого аммония NH_4C1 при температуре 950-1000 °С. Жидкое алитирование проводится в расплавленном алюминии при 750-800 °С. Толщина слоя 0,2-0,5 мм, время 3-12 часов, концентрация алюминия в поверхностном слое достигает до 30 %. Образующийся атомарный алюминий диффундирует в металл, образуя в поверхностном слое твердый раствор алюминия с железом. Алюминий на поверхности окисляется, образуя пленку Al_2O_3.

В результате алитирования сталь приобретает высокую окалиностойкость (до 850-900 °С) и коррозионную стойкость в атмосфере и ряде агрессивных сред. Механические свойства поверхности при алитировании не изменяются.

Хромирование – процесс насыщения поверхности стали атомами хрома. Хромирование средне- и высокоуглеродистых сталей повышает твердость и износостойкость, а также коррозионную стойкость и окалиностойкость (до 800 °С). Проводят хромирование чаще всего в порошкообразных смесях при температуре 1000-1050 °С. Диффузионный слой, получаемый при хромировании углеродистых сталей, состоит из карбидов хрома, в которых растворено некоторое количество атомов железа. Этот слой имеет высокую твердость 1200-1300 HV. Толщина хромированного слоя достигает 0,15-0,20 мм при длительности процесса 6-15 ч. Концентрация хрома в поверхностном слое достигает 30-40 %.

Силицирование – процесс насыщения поверхности стали атомами кремния. Силицирование повышает коррозионную стойкость стали в морской воде, в азотной и соляной кислотах и окалиностойкость до 700-750 °С. Структура слоя - твердый раствор кремния в α-Fe. Толщина силицированного слоя 0,3-1 мм. Этот слой имеет невысокую твердость 200-300 HV, но после пропитки маслом обладает высокой износостойкостью.

6.3. Вопросы

1. Какими особенностями должна обладать диаграмма состояния системы насыщаемый металл - насыщающий компонент для осуществления химико-термической обработки?

1) ХТО возможна только для систем, образующих механические смеси кристаллов компонентов; 2) должна быть высокотемпературная область значительной растворимости компонента в металле; 3) ХТО возможна только для систем, образующих непрерывные твердые растворы; 4) в диаграмме должны присутствовать устойчивые химические соединения.

2. Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали углеродом?

1) цементация; 2) нормализация; 3) улучшение; 4) цианирование.

3. Какова конечная цель цементации стали?

1) создание мелкозернистой структуры сердцевины; 2) повышение содержания углерода в стали; 3) получение в изделии твердого поверхностного слоя при сохранении вязкой сердцевины; 4) увеличение пластичности поверхностного слоя.

4. Что такое карбюризатор?

1) вещество, служащее источником углерода при цементации; 2) карбиды легирующих элементов. 3) устройство для получения топливовоздушной среды. 4) смесь углекислых солей.

5. Какова структура диффузионного слоя, полученного в результате цементации стали?

Начиная от поверхности, следуют структуры ...

1) цементит + перлит; перлит; перлит + феррит; 2) цементит + феррит; перлит; феррит; 3) перлит + феррит; феррит; феррит + цементит; 4) перлит; перлит + цементит; цементит + феррит.

6. Чем отличается мартенсит, полученный после закалки цементованного изделия, в сердцевинных участках от мартенсита в наружных слоях?

1) в сердцевине из-за низкой прокаливаемости сталей образуются структуры перлитного типа; 2) в наружных слоях мартенсит

высокоуглеродистый, в сердцевине – низкоуглеродистый; 3) в сердцевине мартенсита нет; 4) в наружных слоях мартенсит мелкоигольчатый, в сердцевине - крупноигольчатый.

7. Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали азотом и углеродом в расплавленных солях, содержащих группу CN?

1) нитроцементация. 2) улучшение. 3) цианирование. 4) модифицирование.

8. Как называется обработка, состоящая в насыщении поверхности стали азотом и углеродом в газовой среде?

1) цианирование; 2) улучшение; 3) модифицирование; 4) нитроцементация.

9. Какие стали называют цементуемыми?

1) высокоуглеродистые (более 0,7 % С). 2) высоколегированные. 3) низкоуглеродистые (0,1-0,25 % С). 4) среднеуглеродистые (0,3-0,5 % С).

10. За счет каких параметров можно изменять глубину прогреваемого слоя стальных деталей при нагреве ТВЧ?

11. Поверхностная закалка с использованием ТВЧ очень повышает усталостную прочность, например для стали 45 на 280 %. Чем это можно объяснить?

1) улучшением структуры стали; 2) возникновением остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях детали, где обычно начинается развитие усталостных явлений.

12. Будет ли достигнута после цементации высокая износостойкость детали?

13. Ответственное изделие было изготовлено из крупнозернистой углеродистой стали с 0,15% С. Подумайте, какой режим термообработки обеспечит оптимальные свойства изделия, если цементация проводилась при 950 °С и содержание углерода в поверхностном слое 0,9 %.

14. В чем принципиальное отличие диффузионной металлизации от цементации и азотирования и как это должно отразиться на технологии проведения процесса металлизации?

15. Какой способ обработки рационально использовать для повышения окалиностойкости чугунных колосников топок котлов?

1) алитирование в твердой среде; 2) алитирование в жидкой ванне.

6.4. Пояснения к ответам на вопросы

1) Неверно. В системах механических смесей невозможен диффузионный перенос из-за отсутствия в фазах постоянного состава градиента концентраций.

2) Правильно.

3) Действительно, в таких системах ХТО возможна, однако требования к системе завышены. Ищите более точный ответ.

4) Неверно. Химико-термическая обработка предполагает диффузионное насыщение поверхностных слоев изделия насыщающим компонентом. Наличие в диаграмме состояния устойчивых химических соединений не предопределяет возможность диффузии.

2. 1) Правильно.

2) Неверно. Нормализация состоит в нагреве сталей выше критических точек и охлаждении на спокойном воздухе.

3) Неверно. Улучшением называют термическую обработку сталей, состоящую в закалке и последующем высоком отпуске.

4) Неверно. Цианированием называют ХТО стальных изделий, состоящую в насыщении азотом и углеродом.

3. 1) Неверно. Изменение структуры по сечению стального изделия достигается термообработкой и в отсутствие цементации.

2) Неверно. В таком случае было бы проще изготовить изделие из стали с более высоким содержанием углерода.

3) Правильно.

4) Неверно. При цементации поверхностный слой насыщается углеродом. При этом пластичность падает, а не возрастает.

4. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно. Устройства для получения топливовоздушной среды применяют в двигателях внутреннего сгорания, и называются они не карбюризаторами, а карбюраторами.

4) Неверно. Углекислые соли являются лишь одной из составных частей твердых карбюризаторов.

5. 1) Правильно.

2) Неверно. Структуры феррит и феррит + цементит встречаются в сплавах, содержащих углерода меньше, чем в сплавах, применяемых для цементации.

3) Неверно. Структуры феррит и феррит + цементит встречаются в сплавах, содержащих углерода меньше, чем в сплавах, применяемых для цементации.

4) Неверно. Поверхностный слой (перлит) оказался беднее углеродом, чем глубже лежащий (перлит + цементит). Структура цементит + феррит встречается в сплавах, содержащих углерода меньше, чем в применяемых для цементации.

6. 1) Несостоятельность однозначности такого утверждения очевидна. Изделия с малыми сечениями, даже при низкой прокаливаемости, примут сквозную закалку.

2) Правильно.

3) Однозначность такого утверждения неправомерна. Образуется мартенсит в сердцевине или нет, зависит от состава стали, величины сечения изделия и интенсивности охлаждения его при закалке.

4) Однозначность такого утверждения неправомерна. Размер зерна по сечению изделия определяется характером термической обработки.

7. 1) Неверно. При нитроцементации источником атомов углерода и азота является газовая фаза.

2) Неверно. Улучшением называют термическую обработку сталей, состоящую в закалке и последующем высоком отпуске.

3) Правильно.

4) Неверно. Модифицирование состоит в введении в жидкий металл специальных добавок для получения мелкого зерна.

8. 1) Неверно. При цианировании источником атомов азота и углерода является расплав солей, содержащих группу CN.

2) Неверно. Улучшением называют термическую обработку сталей, состоящую в закалке и последующем высоком отпуске.

3) Неверно. Модифицирование состоит в введении в жидкий металл специальных добавок для получения мелкого зерна.

4) Правильно.

9. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

10. Наиболее доступно изменение частоты тока, поэтому глубина прогрева регулируется изменением частоты тока.

1) Это верно, но не единственная причина. Посмотрите эпюру напряжений после поверхностной закалки.

2) Правильно.

12. Несмотря на увеличение содержания углерода в поверхностном слое и некоторое повышение от этого твердости, требуемая износостойкость после цементации не достигается. Поэтому после цементации требуется закалка стальных деталей.

13. В этом случае после цементации проводят нормализацию для получения мелкозернистой структуры во внутренних слоях. После этого проводят закалку с нагрева на 770 °С и отпуск при 160 °С, что обеспечивает износостойкость.

14. Так как атомы металлов с железом образуют твердые растворы замещения, то диффузия этих атомов происходит медленно. Поэтому для металлизации требуются более высокие температуры и большая длительность процесса.

15. 1) Решение плохое, так как процесс очень длительный.

2) Решение оптимальное, процесс реализуется просто и быстро.

3) Решение не лучшее, так как процесс длительный и сложный.

6.5. Задачи

6.1. Завод проводит химико-термическую обработку массовых партий зубчатых колес диаметром 50 мм из стали 20 в термическом цехе. Зубчатые колеса поступали в термический цех из механического цеха, а затем вновь возвращались для окончательной обработки в механический цех. Для повышения производительности и сокращения длительности производственного цикла завод изменил марку стали и начал выполнять закалку с индукционного нагрева. Это позволило проводить термическую

обработку непосредственно в потоке механического цеха. Приведите марку стали, из которой следует изготавливать зубчатые колеса, закаливаемые с индукционного нагрева. Укажите технологический режим обоих процессов термической обработки и сравните их по продолжительности операций.

6.2. Для повышения износостойкости стаканов цилиндров мощных двигателей внутреннего сгорания применяют азотирование. Выберите сталь, пригодную для азотирования, приведите химический состав, рекомендуйте режим термической обработки и режим азотирования и укажите твердость поверхностного слоя и механические свойства нижележащих слоев в готовом изделии. Сравните: твердость, получаемую при азотировании с получаемой при цементации; температуры, до которых может быть сохранена высокая твердость азотированного и цементованного слоев, при каком из этих процессов меньше деформация детали. Укажите возможный состав и толщину азотированного слоя.

6.3. Зубчатые колеса грузовых автомобилей изготавливают из стали 25ХГТ. Какой вид упрочняющей химико-термической обработки (цементацию или нитроцементацию) целесообразно применить? Расшифруйте химический состав стали, укажите достоинства и недостатки указанных способов упрочнения. Опишите структуру и свойства упрочненных зубчатых колес.

№ 6.4. В термическом цехе обрабатывают зубчатые колеса диаметром 30 мм из стали 20Х. Цех отказался от выполнения цементации в твердом карбюризаторе и наметил более прогрессивный процесс газовой нитроцементации. Сравните условия и режим всего цикла химико-термической и термической обработки зубчатых колес в случае выполнения цементации в твердом карбюризаторе и газовой нитроцементации. Требуемая толщина поверхностного слоя 0,4-0,6 мм. Укажите микроструктуру и твердость на поверхности и механические свойства в сердцевине после окончательной обработки.

6.5. Предложите марку недорогой стали для изготовления тяжелонагруженных зубчатых колес с модулем зуба 6-7, а также технологию ее упрочнения, обеспечивающую твердость поверхностного слоя 58-62 HRC и сердцевины не менее 35 HRC. Следует учесть, что колесо имеет диаметр 350 мм, высоту 50 мм и эксплуатируется в условиях запыленности при

воздействии слабоагрессивных сред.

6.6. Конические зубчатые колеса диаметром 50 мм в электротележке работают в условиях динамических нагрузок и повышенного износа. По требованию конструктора сталь должна обладать высоким сопротивлением вязкому и хрупкому разрушению изделия в сердцевине. Выберите углеродистую цементуемую сталь, укажите состав, рекомендуйте режим термической обработки для получения максимальной вязкости в сердцевине изделия, если цементация выполняется в твердом карбюризаторе. Одновременно для сравнения укажите режим химико-термической обработки и в газовой среде. Укажите механические свойства стали в сердцевине изделия и твердость на поверхности после окончательной термической обработки и объясните, целесообразно ли применение для этой цели стали обыкновенного качества.

6.7. В термическом цехе обрабатывают зубчатые колеса диаметром 30 мм, изготовленные из стали 20Х. Цех отказался от выполнения цементации в твердом карбюризаторе и наметил более производительный процесс газовой нитроцементации. Сравните условия и режим всего цикла химико-термической и термической обработки зубчатых колес в случае выполнения цементации в твердом карбюризаторе в нитроцементации. Требуемая толщина поверхностного твердого слоя 0,4-0,6 мм. Укажите микроструктуру и твердость поверхности и механические свойства в сердцевине после окончательной обработки.

6.8. Завод изготавливает зубчатые колеса:

• цементованные, имеющие временное сопротивление ($\sigma_в$) в сердцевине 650-700 МПа и ударную вязкость (KCU) не менее 800 кДж/м²;

• азотированные, имеющие временное сопротивление в сердцевине 950...1000 МПа и ударную вязкость не менее 900 кДж/м²;

• из термически улучшенной стали с временным сопротивлением 900-1000 МПа и ударной вязкостью не ниже 600 кДж/м². Выберите марки сталей. Приведите их химический состав, обработку и структуру, необходимые для получения указанных механических свойств. Сравните режимы обработки и, учитывая свойства, полученные в готовом изделии, определите, для каких условий эксплуатации наиболее рационально использовать стали указанных выше свойств. При решении можно принять, что зубчатые колеса всех типов

имеют одинаковые диаметр (50 мм) и высоту (80 мм).

7. СТАЛИ

7.1. Методические указания

Углеродистые стали. Разберите маркировки углеродистых сталей в соответствии с качеством и назначением по ГОСТу. Их знание позволяет правильно и оперативно осуществлять подбор материала для восстановления или изготовления детали. Изучите влияние углерода и основных примесей на свойства углеродистой стали. Запомните, что вредное влияние фосфора проявляется при эксплуатации стальных деталей, сера же главным образом затрудняет горячую обработку давлением. На работу деталей она практически не влияет, так как детали из углеродистых сталей при высоких температурах не работают. Основное внимание обратите на требования к конструкционным и инструментальным сталям. Запомните, что в конструкционных сталях содержание углерода не превышает 0,65 %, так как при большем содержании углерода детали становятся хрупкими.

Легированные стали. Легированной называют сталь, в состав которой введены легирующие элементы в заданном количестве с целью изменения её структуры и свойств. Разберитесь во влиянии легирующих элементов на изменение структуры и свойств стали, особое внимание уделите технологическим особенностям термической обработки легированной стали различных групп. В связи с этим следует обратить внимание на химический состав и назначение сталей.

Рассмотрите способы классификации (по структуре в нормализованном состоянии и, что особенно важно для машиностроителей, по назначению), основные принципы выбора для различного назначения цементуемых, улучшаемых, пружинно-рессорных, износостойких, высокопрочных, нержавеющих, жаропрочных и других сталей.

Чугуны. Разбирая механические свойства чугунов с графитом, обратите внимание на форму графитовых включений и их количество, так как от этого зависит прочность чугуна. Графит в меньшей степени снижает пластичность и вязкость металлической основы чугуна, если не имеет форму в виде

пластин. Изменение формы графита из пластинчатой на хлопьеобразную может быть получено при отжиге белых чугунов (ковкие чугуны) и в высокопрочных чугунах в результате модифицирования. Уясните сущность модифицирования чугунов. Нужно знать, что металлическая основа у серых, ковких и высокопрочных чугунов может быть одинаковая - перлитная или ферритная. Надо знать способы получения ковких чугунов. Следует иметь в виду, что ковкие чугуны, несмотря на их название, ковать нельзя. В высокопрочных чугунах, модифицированных магнием, графит имеет шарообразную форму, что еще больше увеличивает прочность и пластичность. Высокопрочные чугуны могут выдерживать и некоторые ударные нагрузки. Обязательно нужно знать маркировку чугунов по ГОСТу.

7.2. Краткие теоретические сведения

По *химическому составу* стали подразделяют на углеродистые и легированные.

По *структуре* стали подразделяют на доэвтектоидные (С < 0,83 %), эвтектоидные (С = 0,8 %) и заэвтектоидные (С > 0,8 % С).

По *степени раскисления* стали подразделяют на кипящие, полуспокойные и спокойные. Кипящие стали характеризуются пониженной плотностью отливки, низким содержанием кремния и повышенной пластичностью. Спокойные стали дают плотную отливку. Полуспокойные - занимают промежуточное положение между кипящими и спокойными. Кипящие стали обозначают индексом «кп», полуспокойные – «пс», спокойные - «сп».

По *содержанию углерода* стали подразделяют на низкоуглеродистые (С < 0,3 %), среднеуглеродистые (0,3 < С < 0,7 %) и высокоуглеродистые (С > 0,7 %).

По *качеству* стали подразделяют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Основным критерием качества является содержание в стали серы и фосфора.

По *назначению* стали подразделяют на конструкционные, инструментальные и специальные.

Стали обыкновенного качества маркируют буквами Ст и однозначным числом 0, 1,2,..., 6 – номером сплава. Чем число больше, тем выше среднее

содержание углерода в стали. Информацию о количественном химическом составе сплава марка не содержит. После цифры может стоять индекс раскисленности. Например, Ст6сп - сталь углеродистая обыкновенного качества, спокойная номер 6.

Углеродистые конструкционные качественные стали маркируют двузначным числом, показывающим среднее содержание углерода, выраженное в сотых долях процента. Например, сплав 30 – это сталь углеродистая качественная с содержанием углерода 0,30 %. Индекс раскисленности качественной стали указывают, только если он отличается от спокойной. Например, 08кп - сталь углеродистая конструкционная качественная кипящая, содержащая 0,08 % углерода.

Низкоуглеродистые листовые стали 05, 08, 10 используют, главным образом, для изделий, получаемых холодной штамповкой (холоднодеформируемые стали). Низкоуглеродистые стали 15, 20, 25 чаще применяют для деталей, упрочняемых цементацией (цементуемые стали).

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 используют для самых разнообразных деталей машиностроения в улучшенном, нормализованном или поверхностно закаленном состоянии (улучшаемые стали).

Высокоуглеродистые стали 70, 75, 80, 85 преимущественно применяют для изготовления силовых упругих элементов - плоских и круглых пружин, рессор, упругих колец и других деталей пружинного типа (рессорно-пружинные стали).

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Двузначное число, стоящее в начале марки, соответствует среднему содержанию углерода в сотых долях процента. Буквы указывают на наличие легирующих элементов: А N_2, В - W, Г- Mn, Д- Cu, Е - Se, К - Co, М - Mo, Н - Ni, П - P, С - Si, Т - Ti, Ф - V, Х - Cr, Ю - A1. Число, стоящее после буквы, показывает примерное процентное содержание легирующего элемента, символизируемого этой буквой. Отсутствие числа указывает, что среднее содержание соответствующего элемента не превышает 1,0 %. Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная, буква Ш – особо высококачественная. Например, сплав марки 20ХН3А - сталь конструкционная высококачественная, содержащая (в среднем) 0,20 % С, 3 %

Ni и до 1,0 % Cr.

Буква А в начале марки указывает, что сталь автоматная, т. е. обладающая хорошей обрабатываемостью резанием. Такие стали имеют повышенное содержание серы. Кроме того, они могут быть дополнительно легированы свинцом, селеном или кальцием. Например, А20 - автоматная углеродистая (~ 0,2 % С) сталь; АС14ХГН - свинцовистая автоматная легированная сталь, содержащая 0,14 % С, легированная свинцом, а также хромом, марганцем и никелем (Cr, Mn и Ni до 1,0 % каждого).

Металлы и сплавы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газообразной среды при высоких температурах, называются жаростойкими или окалиностойкими. *Жаростойкими* являются, например, высокохромистые стали 08Х17Т, 15Х25Т, 20Х23Н18.

Металлы и сплавы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах, называют жаропрочными. *Жаропрочными* являются, например, алюминиевые сплавы АК4-1, АЛ33, магниевые сплавы МА12, МЛ 19, титановые сплавы ВТ3-1, ВТ-6, стали 10Х11Н20Т3Р, 45Х14Н14В2М и др.

Мартенситно-стареющие стали - это безуглеродистые высоколегированные сплавы, упрочняющиеся после закалки и старения вследствие выделения интерметаллидных фаз. Например, мартенситно-стареющими являются стали 03Н18К9М5Т, 03Н12К15М10, 03Х11Н10М2Т.

Чугуны. По структуре чугуны подразделяют на доэвтектические, с содержанием углерода С < 4,3 % , эвтектические (С = 4,3 %), заэвтектические (С > более 4,3 %).

В отличие от сталей, чугун широко применяется как конструкционный материал для изготовления фасонных отливок, так как обладает хорошими литейными свойствами.

В высокопрочных чугунах, модифицированных магнием, графит имеет шарообразную форму, что еще больше увеличивает прочность и пластичность. Высокопрочные чугуны могут выдерживать и некоторые ударные нагрузки. В отличие от стали чугуны маркируются не по содержанию углерода, а по механическим свойствам, так как при одинаковом содержании углерода они могут иметь разные свойства.

7.3. Вопросы

1. В поле микроскопа около четверти площади микрошлифа занято перлитом. Сталь какой марки может находиться под микроскопом?

1) 40; 2) 05; 3) 10; 4)20.

2. Какая из указанных сталей относится к заэвтектоидным?

1) Ст1кп; 2) У10АУ; 3) 10пс; 4) А11.

3. Какой из признаков может характеризовать кипящую сталь?

1) низкое содержание кремния; 2) высокая плотность отливки; 2) низкая пластичность; 4) низкое содержание марганца.

4. Какую сталь называют кипящей (например, Ст3кп)?

1) сталь, обладающую повышенной плотностью; 2) сталь, доведенную до температуры кипения; 3) сталь, раскисленную марганцем, кремнием и алюминием; 4) сталь, раскисленную только марганцем.

5. Что является критерием для разделения сталей по качеству?

1) степень раскисления стали; 2) степень легирования стали; 3) содержание в стали серы и фосфора; 4) содержание в стали неметаллических включений.

6. Каково предельное содержание серы и фосфора в высококачественных сталях?

1) S - 0,05 %, P - 0,04 %; 2) S - 0,015 %, P - 0,025 %; 3) S - 0,025 %, P - 0,025 %; 4) S - 0,035 %, P - 0,035 %.

7. Каково предельное содержание серы и фосфора в качественных сталях?

1) S - 0,05 %, P - 0,04 %; 2) S - 0,015 %, P - 0,025 %; 3) S - 0,025 %, P - 0,035 %; 4) S - 0,05 %, P - 0,04 %.

8. К какой категории по качеству принадлежит сталь Ст6сп?

1) к высококачественным сталям; 2) к особовысококачественным сталям; 3) к качественным сталям; 4) к сталям обыкновенного качества.

9. К какой категории по качеству принадлежит сталь 08кп?

1) к сталям обыкновенного качества; 2) к качественным сталям; 3) к высококачественным сталям; 4) к особовысококачественным сталям.

10. Содержат ли информацию о химическом составе марочные обозначения сталей обыкновенного качества, например, Ст4?

1) нет. Число 4 характеризует механические свойства стали; 2) нет;

3) да. В сплаве Ст4 содержится 0,4 % углерода; 4) да. В сплаве Ст4 содержится 0,04 % углерода.

11. Какой из сплавов Ст3сп или сталь 30 содержит больше углерода?

1) Ст3сп; 2) в обоих сплавах содержание углерода одинаково; 3) Сталь 30; 4) для ответа на поставленный вопрос следует состав сплава Ст3сп уточнить по ГОСТ 380-94.

12. Изделия какого типа могут изготавливаться из сталей марок 65, 70?

1) изделия, изготавливаемые глубокой вытяжкой; 2) пружины, рессоры; 3) неответственные элементы сварных конструкций; 4) цементуемые изделия.

13. Каков химический состав стали 20ХН3А?

1) ~ 0,2 % C, не более 1,0 % Cr, ~ 3 % Ni. Сталь высококачественная; 2) ~ 2 % C, не более 1,0 % Cr и N, ~ 3 % Ni; 3) ~ 0,02 % C, ~ 3 % N и ~ по 1 % Cr и Ni; 4) ~ 20 % Cr, не более 1,0 % Ni и около 3 % N.

14. Каков химический состав сплава 5ХНМА?

1) ~ 0,5 % C; не более, чем по 1,0 % Cr, Ni и Mo. Сталь высокого качества; 2) ~ 5 % C; не более, чем по 1,0 % Cr, Ni, Mo и N; 3) ~ 0,05 % C; не более, чем по 1,5 % Cr, Ni и Mo. Сталь высокого качества; 4) ~ 5 % Cr; Ni, Mo и N не более, чем по 1,0 %.

15. Какие стали называют автоматными?

1) стали, предназначенные для изготовления ответственных пружин, работающих в автоматических устройствах; 2) стали, длительно работающие при циклическом знакопеременном нагружении; 3) стали с улучшенной обрабатываемостью резанием, имеющие повышенное содержание серы или дополнительно легированные свинцом, селеном или кальцием; 4) инструментальные стали, предназначенные для изготовления металлорежущего инструмента, работающего на станках-автоматах.

16. К какой группе материалов относится сплав марки А20?

1) к углеродистым инструментальным сталям; 2) к углеродистым качественным конструкционным сталям; 3) к сталям с высокой обрабатываемостью резанием; 4) к сталям обыкновенного качества.

17. К какой группе материалов относится сплав марки АЦ20? Каков его химический состав?

1) конструкционная сталь, содержащая ~ 0,2 % C и легированная N

и Zr; 2) высококачественная конструкционная сталь, содержащая ~ 0,2 % C и ~ 1 % Zr; 3) автоматная сталь. Содержит ~ 0,2 % C, легирована Ca с добавлением Pb и Te; 4) алюминиевый сплав, содержащий ~ 2 % Zn.

18. К какой группе материалов относится сплав марки АС40? Каков его химический состав?

1) высококачественная конструкционная сталь. Содержит около 0,4 % углерода и около 1 % кремния; 2) антифрикционный чугун. Химический состав в марке не отражен; 3) конструкционная сталь, легированная азотом и кремнием. Содержит около 0,4 % углерода; 4) автоматная сталь. Содержит около 0,4 % углерода, повышенное количество серы, легирована свинцом.

№ 19. Даны две марки сталей: 40Х9С2 и 40Х13. Какая из них коррозионностойкая (нержавеющая)?

1) 40Х9С2; 2) 40Х13; 3) ни одна из этих марок сталей не может быть отнесена к коррозионностойким (нержавеющим); 4) обе марки относятся к коррозионностойким (нержавеющим) сталям.

20. Какие металлы называют жаростойкими?

1) металлы, способные сопротивляться часто чередующимся нагреву и охлаждению; 2) металлы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газа при высоких температурах; 3) металлы, способные сохранять структуру мартенсита при высоких температурах; 4) металлы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах.

21. Какие металлы называют жаропрочными?

1) металлы, способные сохранять структуру мартенсита при высоких температурах; 2) металлы, способные сопротивляться коррозионному воздействию газа при высоких температурах; 3) металлы, способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при повышенных температурах; 4) металлы, способные сопротивляться часто чередующимся нагреву и охлаждению.

22. Какие стали называют мартенситно-стареющими?

1) стали, в которых мартенситно-перлитное превращение протекает при естественном старении; 2) стали, в которых мартенсит образуется как следствие закалки и старения; 3) безуглеродистые высоколегированные сплавы, упрочняющиеся после закалки и старения вследствие выделения

интерметаллидных фаз; 4) высоколегированные аустенитные стали, упрочняемые закалкой и последующей термомеханической обработкой с большими степенями обжатия.

23. К какой группе материалов относится сплав марки У10А? Каков его химический состав?

1) высококачественная углеродистая конструкционная сталь. Содержит около 0,1 % С; 2) высокоуглеродистая сталь. Содержит около 1 % С, легирована N; 3) титановый сплав. Содержит около 10 % Al; 4) высококачественная углерод» стая инструментальная сталь. Содержит около 1 % С.

24. Какова форма графита в чугуне марки КЧ 35-10?

1) пластинчатая; 2) хлопьевидная; 3) в этом чугуне графита нет; 4) шаровидная.

25. Графит какой формы содержит сплав СЧ 40?

1) пластинчатой; 2) шаровидной; 3) хлопьевидной; 4) в сплаве графита нет.

26. Графит какой формы содержится в сплаве ВЧ 50?

1) шаровидной; 2) хлопьевидной; 3) в сплаве графита нет; 4) пластинчатой.

27. Что означает число 10 в марке сплава КЧ 35-10?

1) относительное удлинение в процентах; 2) ударную вязкость в кДж/м^2; 3) временное сопротивление в кгс/мм^2; 4) предел текучести в МПа.

28. Что означает число 40 в марке сплава СЧ 40?

1) предел текучести в МПа; 2) предел прочности при изгибе в кгс/мм^2; 3) ударную вязкость в кДж/м^2; 4) временное сопротивление в кгс/мм^2.

29. Можно ли ковать ковкий чугун?

1) можно; 2) можно, но только в горячем состоянии; 3) нельзя; 4). можно после отжига.

30. Как изменяются механические свойства чугуна при выделении графита?

1) улучшаются от пластинчатой к хлопьевидной и шаровидной; 2) ухудшаются от пластинчатой к хлопьевидной и шаровидной; 3) не зависят; 4). улучшаются от хлопьевидной к пластинчатой и шаровидной.

7.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Неверно. В этом случае перлитом было бы занято половина площади микрошлифа.

2) Неверно. В этом случае перлитом было бы занято всего 6 % площади микрошлифа.

3) Неверно. В этом случае перлитом было бы занято немногим более 12 % площади микрошлифа.

4) Правильно.

2. 1) Неверно. Ст1 кп - кипящая сталь 1 обыкновенного качества. По равновесной структуре - она доэвтектоидная.

2) Правильно.

3) Неверно, 10пс - полуспокойная низкоуглеродистая качественная конструкционная сталь. По равновесной структуре она - доэвтектоидная.

4) Неверно. А11 - автоматная сталь. По равновесной структуре она - доэвтектоидная.

3. 1) Правильно.

2) Неверно. В кипящих сталях много газовых пузырьков, поэтому они образуют наименее плотные отливки.

3) Неверно. Марганец в количествах, характерных для нелегированных сталей, не снижает пластичности.

4) Неверно. Кипящие стали - это стали, раскисленные одним Mn. Значит его содержание не может быть очень низким.

4. 1) Кипящие стали как раз обладают пониженной плотностью.

2) Неверно.

3) Сталь, раскисленную марганцем, кремнием и алюминием, называют спокойной.

4) Правильно.

5. 1) Неверно. По степени раскисления стали подразделяют на кипящие, полуспокойные и спокойные.

2) Неверно. По степени легированности стали подразделяют на низко-, средне- и высоколегированные.

3) Правильно.

4) Безусловно, неметаллические включения очень сильно влияют на свойства стали, однако не они являются критерием для разделения сталей по качеству.

6. 1) Неверно. Таково предельное содержание S и P в сталях обыкновенного качества.

2) Неверно. Таково предельное содержание S и P в особо высококачественных сталях.

3) Правильно.

4) Неверно. Таково предельное содержание S и P в качественных сталях.

7. 1) Неверно. Таково предельное содержание S и P в особо высококачественных сталях.

2) Неверно. Не более, чем по 0,025 % серы и фосфора содержат высококачественные стали.

3) Правильно.

4) Неверно. Таково предельное содержание S и P в сталях обыкновенного качества.

8. 1) Неверно. В конце марки высококачественных сталей должна находиться буква А.

2) Неверно. В конце марки сталей особо высокого качества должна находиться буква Ш.

3) Неверно.

4) Правильно.

9. 1) Неверно. Стали обыкновенного качества маркируют буквами Ст и номерами с 0 по 6, например Ст3.

2) Правильно.

3) Неверно. В конце марки высококачественных сталей должна находиться буква А.

4) Неверно. В конце марки сталей особо высокого качества.

10. 1) Действительно, информацию о химическом составе марка сплава Ст4 не содержит, но 4 - это лишь ее номер.

2) Правильно.

3) Неверно. Число в начале марки обозначает содержание углерода в десятых долях процента в инструментальных сталях.

4) Неверно. Число в начале марки обозначает содержание углерода в сотых долях процента в качественных (и более высокого качества) конструкционных сталях.

11. 1) Среднее содержание углерода в стали марки 30 видно по марочному обозначению, а в Ст3 - нет.

2) Среднее содержание углерода в стали марки 30 видно по марочному обозначению, а в Ст3 - нет.

3) Среднее содержание углерода в стали марки 30 видно по марочному обозначению, а в Ст3 - нет.

4) Правильно.

12. 1) Неверно. Из углеродистых сталей для глубокой вытяжки пригодна лишь сталь 05 кп.

2) Правильно.

3) Неверно. Сварка материалов со столь высоким содержанием углерода сложна и требует специальных приемов.

4) Неверно. Цементуемые изделия изготавливают из цементуемых (низкоуглеродистых) сталей.

13. 1) Правильно.

2) Неверно. В конструкционных сталях число в начале марки показывает содержание углерода в сотых долях процента. Числа после букв - содержание соответствующих элементов в процентах. Азота в этой стали нет.

3) Неверно. В конструкционных сталях число в начале марки показывает содержание углерода в сотых долях процента. Числа после букв - содержание соответствующих элементов в процентах. Азота в этой стали нет.

4) Неверно. Концентрацию элементов в сплавах указывают числа, стоящие не перед буквами, а после них. Азота в этой стали нет.

14. 1) Правильно.

2) Неверно. 5ХНМА - инструментальная сталь. В таких сплавах число в начале марки указывает на содержание углерода в десятых долях процента. Азота в этой стали нет.

3) Неверно. 5ХНМА - инструментальная сталь. В таких сплавах число в начале марки указывает на содержание углерода в десятых долях процента.

4) Неверно. Концентрацию элементов в сплавах указывают числа,

стоящие не перед буквами, а после них. Азота в этой стали нет.

15. 1) Неверно. Такие стали называют пружинными.

2) Неверно. Такие стали называют сталями с повышенной цикловой прочностью.

3) Правильно.

4) Неверно.

16. 1) Неверно. Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У, например, У12.

2) Неверно. Углеродистые качественные конструкционные стали - не содержат в марке букву А.

3) Правильно.

4) Неверно. Стали обыкновенного качества маркируют числами от 0 до 6, например Ст3.

17. 1) В этой стали, действительно, содержится около 0,2 % углерода, но ни азота, ни циркония в ней нет.

2) Неверно. Высококачественные стали имеют букву А в конце марки. К тому же в данном сплаве нет Zr.

3) Правильно.

4) Неверно.

18. 1) Этот ответ противоречит принципам маркировки сталей.

2) Неверно. Марки антифрикционных чугунов начинаются с АЧ.

3) В марках конструкционных сталей в начале находится число, обозначающее содержание углерода в сплаве.

4) Правильно.

19. 1) Неверно. В стали 40Х9С2 количество хрома не достигло величины, когда сплав становится электроположительным.

2) Правильно.

3) Неверно. 40Х13 - коррозионно-стойкая (нержавеющая) сталь мартенситного класса.

4) Неверно. В стали 40Х9С2 количество хрома не достигло величины, когда сплав становится электроположительным.

20. 1) Неверно. Такие металлы называют разгаростойкими, или устойчивыми против термической усталости.

2) Правильно.

3) Неверно. Такие металлы называют красностойкими.

4) Неверно. Такие металлы называют жаропрочными.

21. 1) Неверно. Такие металлы называют красностойкими.

2) Неверно. Такие металлы называют жаростойкими.

3) Правильно.

4) Неверно. Такие металлы называют разгаростойкими или устойчивыми против термической усталости.

22. 1) Неверно. Мартенситно-перлитное превращение в сталях протекает при отпуске.

2) Неверно. Мартенсит в сталях образуется при закалке, но не при старении.

3) Правильно.

4) Неверно. Такие сплавы называют метастабильными аустенитными сталями (трипсталями).

23. 1) Неверно. Рассматриваемый сплав не относится к конструкционными сталям. Он содержит значительно больше углерода.

2) Это высокоуглеродистая сталь, но в ней нет азота.

3) Неверно.

4) Правильно.

24. 1) Неверно. КЧ 35-10 - ковкий чугун. Графит пластинчатой формы содержат серые чугуны.

2) Правильно.

3) Неверно. КЧ35-10 - ковкий чугун. Отсутствует же графит в белых чугунах.

4) Неверно. КЧ35-10 - ковкий чугун. Графит шаровидной формы содержат высокопрочные чугуны.

25. 1) Правильно.

2) Неверно. Графит шаровидной формы содержится в сплавах, маркируемых буквами ВЧ.

3) Неверно. Графит хлопьевидной формы содержится в сплавах, маркируемых буквами КЧ.

4) Неверно.

26. 1) Правильно.

2) Неверно. Графит хлопьевидной формы содержится в сплавах,

маркируемых буквами КЧ.

3) Неверно.

4) Неверно. Графит пластинчатой формы содержится в сплавах, маркируемых буквами СЧ.

27. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно. В марке сплава КЧ 35-10 временное сопротивление показывает число 35.

4) Неверно.

28. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

29. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

30. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Неверно.

7.5. Задачи

7.1. Зубчатые колеса в зависимости от условий работы и возникающих напряжений можно изготавливать из стали обыкновенного качества, качественной углеродистой и легированной с различным содержанием легирующих элементов. Выберите, руководствуясь техническими и экономическими соображениями, сталь для изготовления колес диаметром 50 мм и высотой 30 мм с пределом текучести не ниже 360-380 МПа. Укажите термическую обработку колес, механические свойства и структуру выбранной стали в готовом изделии и для сравнения механические свойства и структуру сталей 45 и 40ХН после улучшающей термической обработки.

7.2. Выберите сталь для червячных фрез, обрабатывающих

конструкционные стали твердостью НВ 220-240. Объясните причины, по которым для этого назначения нецелесообразно использовать углеродистую сталь У12 с высокой твердостью (63-65 HRC). Рекомендуйте режим термической обработки фрез из выбранной быстрорежущей стали, приняв, что фрезы изготовлены из проката диаметром 40 мм. Опишите получаемую структуру и возможный комплекс эксплуатационных свойств.

7.3. Выберите марку стали для изготовления крепежных болтов, если их обрабатывают на быстроходных станках-автоматах, на которых надо обеспечить максимальную производительность резания и получить высокую чистоту обрабатываемой поверхности; болты не воспринимают в конструкции значительных нагрузок, но работают в агрессивной среде. Укажите марку, химический состав, механические свойства и назначение стали этого типа. Объясните влияние отдельных элементов, присутствующих в этой стали, на формирование заданного комплекса эксплуатационных свойств. Приведите для сравнения состав, структуру и механические свойства цветного сплава высокой обрабатываемости, применяемого для аналогичного назначения. Объясните, в каких случаях следует применять тот или иной из выбранных материалов и почему.

7.4. Выберите сталь для изготовления валов диаметром 50 мм для двух редукторов. По расчету сталь для одного из валов должна иметь предел текучести не ниже 350 МПа, а для другого - не ниже 500 МПа. Укажите: состав и марку выбранных сталей; режим термической обработки; структуру после каждой операции термической обработки; механические свойства в готовом изделии. Можно ли применять углеродистую сталь обыкновенного качества для изготовления валов требуемого сечения и прочности?

7.5. Выберите сталь для шарикоподшипника, работающего в агрессивной среде (10 % растворе азотной кислоты), назовите режим упрочняющей термической обработки и получаемую структуру. Объясните, почему сталь ШХ15 непригодна для таких условий работы. Приведите химический состав выбранной стали. Обоснуйте возможность изготовления деталей крупногабаритных шарикоподшипников, работающих в неагрессивных средах, из цементуемых легированных сталей.

7.6. Козырьки и черпаки землечерпательных машин, изготовленные из углеродистой' стали, быстро изнашиваются при интенсивной работе по

грунту. Применение легированной стали с аустенитной структурой, обладающей повышенной износостойкостью при ударных нагрузках, позволяет повысить стойкость козырьков и черпаков в несколько раз. Приведите химический состав стали, применяемой для этого, а также режим термической обработки, структуру свойства и объясните причины повышенной износостойкости в указанных условиях эксплуатации.

7.7. Коленчатые валы диаметром 80 мм, работающие при повышенных напряжениях, изготавливают на одном заводе из качественной углеродистой стали а на другом те же валы, но диаметром 120 мм - из легированной стали. Какие стали следует применять для этой цели? Укажите их химический состав и марки. Рекомендуйте режим закалки и отпуска и сопоставьте механические свойства, которые могут обеспечить углеродистая качественная и легированная стали выбранных марок для валов указанных диаметров.

7.8. Щеки и шары машин для дробления руды и камней работают в условиях повышенного абразивного износа, сопровождаемого ударами. Выберите сталь для изготовления щек и шаров, укажите ее химический состав и свойства, в том числе обрабатываемость резанием на станках и поведение в работе. Рекомендуйте наиболее эффективный технологический процесс изготовления и режим термической обработки щек и шаров. Укажите структуру стали в готовом изделии.

7.9. Выберите сталь для изготовления тяжелонагруженных коленчатых валов диаметром 60 мм: временное сопротивление должно быть не ниже 750 МПа. Рекомендуйте состав и марку стали, режим термической обработки. Определите структуру и механические свойства после закалки и после отпуска. Предложите и обоснуйте режим упрочняющей обработки для повышения износостойкости опорных шеек вала.

7.10. Завод изготавливает среднемодульные цилиндрические зубчатые колеса из стали 45 и упрочняет их способом индукционной закалки при поверхностном нагреве. Однако впадина зубьев при такой обработке не закаливается, что сокращает срок службы колес. Рекомендуйте: марку стали и обработку, обеспечивающую закалку зубчатых колес по всему контуру, а следовательно, с упрочнением зубьев по всей их поверхности; приведите для сравнения состав углеродистой или низколегированной стали, пригодной для изготовления зубчатых колес, упрочняемых химико-термической обработкой.

7.11. Завод должен изготовить три вала для двигателей. Они должны иметь временное сопротивление растяжению не ниже 750 МПа. Однако первый вал имеет диаметр 35 мм, второй 50 мм и третий 120 мм. Выберите сталь (стали) для изготовления валов, обоснуйте сделанный выбор, рекомендуйте режим термической обработки и укажите структуру и механические свойства в готовом вале.

7.12. В шестернях, изготовленных из стали 40Х и обработанных на твердость HRC 40-42, в процессе эксплуатации при повышенных напряжениях, в том числе динамических нагрузках, возникали трещины при низких температурах в условиях севера. Объясните причины, вызывающие этот брак, и рекомендуйте марку хладостойкой улучшаемой стали, вязкость которой мало уменьшается при понижении температуры с +20 °С и до –60 °С.

7.13. На заводе изготавливали валы двигателей внутреннего сгорания диаметром 60 мм из стали с пределом текучести 200-230 МПа и относительным удлинением 20-22 %. В дальнейшем был получен заказ на валы такого же диаметра для более мощных двигателей. Завод должен был гарантировать для валов одного типа предел текучести $\sigma_{0,2}$ не ниже 600 МПа и ударную вязкость не ниже 600 кДж/м^2, а для валов другого типа $\sigma_{0,2}$ не ниже 800 МПа и ударную вязкость не ниже 800 кДж/м^2. Укажите стали, режим термической обработки, структуру и механические свойства после окончательной обработки. Укажите, как изменится отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ у выбранных сталей в результате выполнения улучшающей термической обработки.

7.14. Поршневые пальцы диаметром 30 мм и длиной 50 мм должны иметь по условиям работы вязкую сердцевину и твердую поверхность; хорошо сопротивляющуюся износу (HRC 58...62). Укажите режим обработки, обеспечивающий получение требуемых свойств, если пальцы изготавливают массовыми партиями из сталей 20 и 45. Приведите химический состав сталей 20 и 45 и сравните продолжительность выдержки изделий из стали 20 при цементации и из стали 45 при других способах обработки для получения поверхностного твердого слоя толщиной 0,8..1,0 мм. Укажите цикл всех операций термической обработки поршневых пальцев из этих сталей и механические свойства в сердцевине изделия из сталей 20 и 45.

7.15. Шестерни подвергаются действию знакопеременных и ударных

нагрузок и должны иметь максимально однородные свойства в продольном и поперечном направлениях. Их изготавливают в зависимости от типа двигателя из стали с временным сопротивлением растяжению ($\sigma_в$) 700-750 МПа и 900-950 МПа. Ударная вязкость (KCU) в обоих случаях должна быть не ниже 700-800 кДж/м^2. Выберите сталь для шестерен обоих типов, приведите состав, марку, режим термической обработки, микроструктуру и механические свойства в готовом изделии. Укажите последовательность операций ее изготовления, начиная с получения стали на машиностроительном заводе. Рекомендуйте операцию, позволяющую создать в стали однородное строение, а следовательно, однородные свойства в продольном и поперечном направлениях.

7.16. Детали холодильных машин во избежание хрупкого разрушения изготавливают из сталей и сплавов с пониженным порогом хладноломкости и соответственно повышенной вязкостью при низких температурах. Рекомендуйте состав стали для деталей холодильных машин, работающих при температурах от –70 °С и до –259 °С (в среде жидкого водорода). Объясните, какие различия в структуре, а следовательно, и в составе должны быть между этими сталями.

7.17. Завод изготавливает два типа зубчатых колес диаметром 60 мм и высотой 80 мм для работы в одинаковых условиях. Предел текучести ($\sigma_{0,2}$) должен быть не ниже 540-550 МПа. Однако второй тип зубчатых колес отличается от первого более сложной формой зуба и поэтому шлифование их после упрочняющей обработки исключено. Выберите сталь для зубчатых колес указанных двух типов и приведите состав и марку, учитывая технологические особенности термической обработки и необходимость предотвращения деформации и образования трещин при закалке. Обоснуйте сделанный выбор стали, рекомендуйте режим термической обработки и укажите механические свойства в готовом изделии.

7.18. Для изготовления пружин приборов завод применяет сталь 60С2ХА, обрабатываемую на твердость HRC 40-44. Однако пружины из этой стали при нагреве даже в области климатических температур изменяют свои характеристики в связи с изменением модуля упругости. Это снижает точность работы приборов. Рекомендуйте сплав для изготовления пружин, модуль упругости которого почти не изменяется при температурах от –50 до

+100 °С. Сопоставьте режим упрочняющей обработки стали 60С2ХА и выбранного сплава.

7.19. Червяк редуктора диаметром 35 мм можно изготовить из цементуемой и нецементуемой стали. Обоснуйте, в каких случаях целесообразно применять цементуемую и в каких случаях нецементуемую сталь Временное сопротивление растяжению ($\sigma_в$) в сердцевине детали должно быть 600-700 МПа. Выберите марку цементуемой и нецементуемой углеродистой качественной стали. Укажите химический состав, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки и сопоставьте механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

7.20. Детали гидронасосов, в частности клапаны, изготавливали из стали 40Х. Однако в дальнейшем в новых более мощных насосах, в которых скорость движения потока жидкости резко возросла, поверхность клапанов из стали 40Х быстро разрушалась. Объясните причины, по которым это изменение условий службы вызвало разрушение клапанов, и какие явления этому способствовали. Рекомендуйте состав стали, стойкий в условиях большой скорости потока для насосов по перекачке морской воды.

7.21. Цех изготавливает зубчатые колеса диаметром 50 мм из цементуемой стали. Выберите сталь для двух зубчатых колес, работающих в условиях износа и удара при повышенных напряжениях. Укажите химический состав выбранных сталей, рекомендуйте режим термической обработки, объясните назначение каждой операции термической обработки и ее влияние на структуру и свойства стали. Рекомендуйте толщину цементованого слоя для данной детали.

7.22. Котлы многих тепловых электростанций работают при давлении пара 50 МПа и температуре 600 °С. В этом случае для котлов нужны стали с высоким сопротивлением ползучести. Укажите марку, химический состав и структуру стали, пригодной для работы в указанных условиях. Сравните характеристики выбранной стали со свойствами другой стали, обычно применяемой для котлов, работающих при 300-400 °С.

7.23. Станкостроительный завод изготавливает шпиндели токарных станков. Шпиндели работают с большой скоростью вращения в условиях повышенного износа, поэтому твердость в поверхностном слое должна быть HRC 58-62. Выберите стали для шпинделей диаметром 40 и 75 мм. Приведите

состав и марку выбранной стали и рекомендуйте режим обработки, обеспечивающий получение заданной твердости в поверхностном слое в условиях скоростной термической обработки. Укажите структуру стали в поверхностных слоях и в сердцевине шпинделя, механические свойства сердцевины после окончательной термической обработки.

7.24. Сталь, применяемая для пароперегревателей котлов высокого давления, должна сохранять повышенные механические свойства при длительных нагрузках при температурах порядка 500 °С и иметь достаточно высокую пластичность для возможности выполнения холодной пластической деформации (гибки, завальцовки и т п.) при сборке котла. Укажите химический состав, микроструктуру и механические свойства стали при комнатной и при повышенной температурах (400... 500 °С). Объясните основные отличия выбранной стали от углеродистой котельной стали.

7.25. Многие детали установок расщепления нефти, в частности трубы печей, подвержены действию высоких температур. Выберите составы сталей для труб, не испытывающих больших нагрузок, но нагревающихся в работе до 250 и 600 °С. Укажите режимы термической обработки и микроструктуры сталей.

7.26. Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и срез; он должен, кроме того, обладать высокой износостойкостью на поверхности и высоким сопротивлением хрупкому и вязкому разрушению в сердцевине. Выберите углеродистую сталь, приведите ее состав и марку, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки и укажите структуру, механические свойства в сердцевине и твердость на поверхности после окончательной обработки. Укажите также желательную толщину твердого поверхностного слоя.

7.27. Лопатки реактивных и турбореактивных двигателей работают в окислительной среде при высоких температурах (до 800-900 °С). Сплавы, из которых изготавливают эти детали, должны обладать повышенной коррозионной стойкостью (окалиностойкостью), высоким сопротивлением ползучести, длительной прочностью при указанных температурах. Выберите состав сплава, укажите методы термической обработки и приведите изменение структуры и свойств после основных операций этой обработки.

7.28. Выберите материал для изготовления черпаков землеройных

машин, работающих в условиях абразивного изнашивания и динамических нагрузок. Расшифруйте химический состав, охарактеризуйте механические и технологические свойства и приведите режим термической обработки стали, объясните причины ее самоупрочнения при работе.

7.29. Многие детали паровых турбин, например лопатки, работают при повышенных температурах (400-500 °С) и в условиях воздействия пара и влаги. Сталь для этого назначения должна обладать устойчивостью против ползучести и коррозии. Выберите марку стали для лопаток и укажите ее химический состав, а также режим термической обработки и микроструктуру в готовом изделии. Приведите механические свойства выбранной стали при 20° и 500° С; сравните их по свойствам с углеродистой качественной сталью, имеющей одинаковое содержание углерода.

7.30. Заводу нужно изготовить зубчатые колеса сложной формы диаметром 50 мм и высотой 100 мм. Они должны иметь твердость на поверхности не ниже HRC 58-60, а в сердцевине временное сопротивление растяжению ($\sigma_в$) не ниже 400 МПа и ударную вязкость (KCU) не ниже 500-600 кДж/м^2. Завод изготовил первую партию зубчатых колес из углеродистой цементуемой стали, однако некоторые зубчатые колеса получили деформацию при закалке. Выберите сталь и рекомендуйте режим термической обработки после цементации для получения заданных механических свойств и предупреждения брака по деформации. Укажите структуру стали в сердцевине и поверхностном слое после окончательной обработки и причины, вызывающие деформацию при закалке.

8. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

8.1. Методические указания

Цветные металлы составляют довольно большую группу веществ из Периодической системы элементов, однако наибольшее распространение в промышленности получили такие металлы, как медь, алюминий, магний, титан, олово, свинец, цинк и никель. Эти металлы используются как

легирующие добавки в производстве специальных сталей и сплавов, так и самостоятельно, главным образом в виде сплавов. Кратко рассмотрите особенности применения этих металлов в различных отраслях техники.

Разберите принципы маркировки медных и алюминиевых сплавов. Как правило, сплавы цветных металлов отличаются хорошими литейными свойствами, однако их прочностные свойства невысоки. Поэтому следует обратить внимание на возможность их повышения путем термической обработки. Большое внимание надо уделять при этом процессу старения, поскольку в одном случае он полезен, а в другом - нежелателен. Разберитесь, для каких сплавов упрочняющая обработка обязательна и почему. Ознакомьтесь с использованием порошков цветных металлов в качестве сырья для производства изделий методами порошковой металлургии.

8.2. Краткие теоретические сведения

Цветные металлы являются более дорогими и дефицитными по сравнению с черными металлами, однако область их применения в технике непрерывно расширяется.

Медь и ее сплавы

Медь – металл красновато-розового цвета, имеет ГЦК решетку, полиморфных превращений нет. Медь характеризуется высокой теплопроводностью и электропроводимостью, пластичностью и коррозионной стойкостью, технологична: хорошо паяется и сваривается, прокатывается в тонкие листы и ленту, из неё получают тонкую проволоку.

Механические свойства меди в большой степени зависят от ее состояния и в меньшей от содержания примесей: временное сопротивление разрыву (предел прочности) 150-200 МПа, относительное удлинение – 40-50 %. После пластической деформации прочность меди повышается до 300-350 МПа, а пластичность понижается до 8-6 %.

В качестве конструкционного материала медь в машиностроении применяется редко, но очень широко используется в электротехнике и электронике. В машиностроении в основном используют сплавы на основе меди – латуни и бронзы.

Латунь – это сплав меди с другими элементами, из которых цинк

является основным.

Бронза – это сплав меди с другими элементами, из которых цинк не является основным.

По технологическому принципу сплавы делятся на деформируемые и литейные, их обозначения имеют различия.

Алюминий и его сплавы

Алюминий – металл серебристо-белого цвета и кристаллизируется в ГЦК решетке, полиморфных превращений нет. Алюминий обладает малой плотностью, хорошей теплопроводностью и электропроводимостью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, так как на его поверхности образуется плотная пленка оксида Al_2O_3. Алюминий обладает высокой пластичностью δ = 40 % и низкой прочностью $\sigma_в$ = 100 МПа. В результате наклепа прочность алюминия повышается до 160-180 МПа, но при этом пластичность уменьшается до 8-6 %.

Технический алюминий хорошо сваривается. Из него изготавливают строительные конструкции, малонагруженные детали машин, цистерны для перевозки нефти и нефтепродуктов, посуду, используют в качестве электротехнического материала для кабелей, проводов.

Еще шире в промышленности используются сплавы алюминия. По технологическим свойствам сплавы делятся на три группы: деформируемые, литейные и порошковые.

Деформируемые сплавы подразделяют на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. Упрочняющая термическая обработка заключается в закалке с температуры 500 ^oC и естественном старении. Максимальная прочность достигается через 4-5 суток.

Титан и его сплавы

Титан – металл серебристо-белого цвета, имеет модификации: α-титан с ГЦК решеткой и β-титан с ОЦК. решеткой. Температура α – β превращения 882 °С. Для технического титана, с суммарным содержанием примесей 0,8 %, предел прочности составляет 650 МПа, а относительное удлинение – 20 %. Титан обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошо куется и сваривается, но имеет низкую теплопроводность.

Свойства титана сильно зависят от чистоты. Газы – азот и кислород – повышают прочность титана, но сильно снижают пластичность. Углерод

снижает горячую пластичность, обрабатываемость резанием, свариваемость. Технический титан хорошо обрабатывается давлением. Из него изготовляют листы, трубы, проволоку, поковки.

По структурному признаку титановые сплавы делят на три группы: α-сплавы, β-сплавы и (α + β)-сплавы. Титановые сплавы технологичны при литье, пластическом деформировании, однако плохо обрабатываются резанием.

Для снятия напряжений, возникающих при механической обработке, штамповке и т. п., детали из титановых сплавов подвергают отжигу в интервале температур 550-620 °С. Для снятия наклепа отжиг выполняют при более высокой температуре - 700-800 °С.

Титановые сплавы обладают высокой прочностью 700-1200 МПа и пластичностью 12-25 %. Для повышения износостойкости сплавы подвергают азотированию. Твердость азотированного слоя 1100-1200 HV.

Титановые сплавы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими: сочетание высокой прочности с хорошей пластичностью, малая плотность, обеспечивающая высокую удельную прочность, хорошая жаропрочность, до 600-700 ºС, высокая коррозионная стойкость в агрессивных средах.

Магний и его сплавы

Магний – металл серебристо-белого цвета, кристаллизуется в плотно упакованной ГПУ решетке. Полиморфных превращений не имеет.

Магний отличается низкой плотностью, хорошей обрабатываемостью резанием и способностью воспринимать ударные и гасить вибрационные нагрузки. Теплопроводность магния в 1,5, а электропроводимость – в 2 раза ниже, чем у алюминия.

При нагреве магний активно окисляется и при температуре выше 623 °С на воздухе воспламеняется. Это затрудняет плавку и разливку магния и его сплавов. Порошок, тонкая лента, мелкая стружка магния представляют большую опасность, так как самовозгораются на воздухе при обычных температурах, горят с выделением большого количества теплоты и излучением ослепительно яркого света.

Литой магний имеет крупнокристаллическую структуру и низкие механические свойства: прочность 110-120 МПа и пластичность 6-8 %.

Чистый магний из-за низких механических свойств как

конструкционный материал практически не применяется. Он используется в пиротехнике, в химической промышленности для синтеза органических препаратов, в металлургии различных металлов и сплавов как раскислитель, восстановитель и легирующий элемент.

В промышленности используют сплавы магния с алюминием, цинком, марганцем и реже с титаном. Алюминий и цинк улучшают механические свойства, марганец повышает коррозионную стойкость, титан способствует измельчению зерна. Достоинством магниевых сплавов является высокая удельная прочность. Временное сопротивление отдельных сплавов достигает 250-400 МПа. Временное сопротивление и особенно предел текучести магниевых сплавов значительно повышаются с помощью термомеханической обработки и легирования цирконием.

Магниевые сплавы хорошо обрабатываются резанием, легко шлифуются и полируются. Они удовлетворительно свариваются.

К недостаткам магниевых сплавов относятся низкая коррозионная стойкость, плохие литейные свойства, склонность к газонасыщению, окислению и воспламенению при их приготовлении.

Деформация магниевых сплавов осуществляется при температурах 250-400 °С. Упрочняющей термической обработке деформируемые магниевые сплавы не подвергают, их отжигают при температурах 340-400 °С в течение 3-12 ч.

Механические свойства литейных сплавов в большой степени зависят от величины зерна. Для измельчения зерна их перед разливкой модифицируют мелом, магнезитом, цирконием, хлорным железом. Отливки магниевых сплавов для снятия остаточных напряжений подвергают отжигу при температурах 200-250 °С. Упрочняющая термическая обработка литейных магниевых сплавов состоит из закалки от температуры 380 °С (МЛ4) или 415 °С (МЛ5), охлаждения на воздухе и последующего старения при температуре 175 °С в течение 15-16 ч. После такой обработки сплав МЛ5 получает предел прочности 220 МПа при относительном удлинении 5 %. Магниевые сплавы применяют в авиационной и радиотехнической промышленности.

8.3. Вопросы

1. Какими из приведенных в ответах свойств характеризуется медь?

1) низкой $T_{пл}$ (651 °С), низкой теплопроводностью, низкой плотностью (1740 кг/м^3); 2) низкой $T_{пл}$ (327 °С), низкой теплопроводностью, высокой плотностью (11 600 кг/м^3); 3) высокой $T_{пп}$ (1083 °С), высокой теплопроводностью, высокой плотностью (8940 кг/м^3). 4) высокой $T_{пл}$ (1665 °С), низкой теплопроводностью, низкой плотностью (4500 кг/м^3).

2. Каков тип кристаллической решетки меди?

1) В модификации α-Г. П. У., в модификации β-О. Ц. К; 2) кубическая гранецентрированная; 3) Гексагональная плотноупакованная; 4) кубическая объемноцентрированная.

3. Что такое латунь?

1) сплав меди с цинком; 2) сплав железа с никелем; 3) сплав меди с оловом; 4) сплав алюминия с кремнием.

4. Каково максимальное содержание цинка в латунях, имеющих практическое значение?

1) 45 %; 2) 39 %; 3) 52 %; 4) 18 %.

5. Как влияет увеличение концентрации цинка на прочность и пластичность α-латуней?

1) обе характеристики снижаются; 2) обе характеристики возрастают; 3) прочность увеличивается, пластичность снижается; 4) прочность снижается, пластичность растет.

6. Как влияет на прочность и пластичность (α + β)-латуней увеличение концентрации цинка?

1) прочность и пластичность снижаются; 2) прочность и пластичность увеличиваются; 3) прочность увеличивается, пластичность снижается; 4) прочность снижается, пластичность увеличивается.

7. Как называется сплав марки Л62? Каков его химический состав?

1) литейная сталь, содержащая 0,62 % С; 2) литейный алюминиевый сплав, содержащий 62 % А1; 3) сплав меди с цинком, содержащий 62 % Cu; 4) сплав бронзы с медью, содержащий 62 % бронзы.

8. Как называется сплав марки ЛК8О-3? Каков его химический состав?

1) литейный алюминиевый сплав (силумин); Состав устанавливают по ГОСТу; 2) латунь. Содержит примерно 80 % Zn, 3 % Cd, остальное - Cu;

3) литейная эвтектоидная сталь. Содержит примерно 0,8 С и ~ 3 % Со; 4) латунь. Содержит примерно 80 % Си, 17 % Zn и 3 % Si.

9. Как называют сплавы меди с другими элементами (кремнием, алюминием, оловом, бериллием и т. д.)?

1) бронзы; 2) латуни; 3) инвары; 4) баббиты.

10. Каковы основные характеристики алюминия?

1) малая плотность; низкая теплопроводность; низкая коррозионная стойкость; 2) высокая плотность; высокая теплопроводность; высокая коррозионная стойкость; 3) малая плотность; высокая теплопроводность; высокая коррозионная стойкость; 4) малая плотность; высокая теплопроводность; низкая коррозионная стойкость.

11. Каков тип кристаллической решетки алюминия?

1) кубическая гранецентрированная; 2) в модификации α-ГПУ, в модификации β-ОЦК; 3) кубическая объемно-центрированная; 4) гексагональная плотноупакованная.

12. Как зависит максимально достижимая прочность сплавов системы Al-Cu от температуры старения?

1) прочность не зависит от температуры старения; 2) чем выше температура, тем выше прочность; 3) чем выше температура, тем ниже прочность; 4) прочность достигается закалкой, старение же только снимает возникшие при закалке напряжения.

13. Чем объяснить, что в сплавах системы Al-Cu при искусственном старении после достижения максимальной прочности наступает разупрочнение?

1) выделением стабильной фазы $CuAl_2$; 2) образованием зон Гинье-Престона; 3) распадом мартенситной структуры; 4) упорядочением твердого раствора.

14. Что называют возвратом для естественно состаренных алюминиевых сплавов?

1) для алюминиевых сплавов возврат - это синоним отжига; 2) переход сплава в свежезакаленное состояние под действием кратковременного нагрева; 3) переход искаженной под действием закалочных напряжений кристаллической решетки в равновесное состояние; 4) переход пластически деформированной кристаллической решетки в равновесное

состояние.

15. К какой группе принадлежат алюминиевые сплавы типа АМг, например, АМг6?

1) к литейным сплавам; 2) к деформируемым сплавам, неупрочняемым термообработкой; 3) к деформируемым высокопрочным сплавам; 4) к деформируемым сплавам, упрочняемым термообработкой.

16. Как называется сплав марки Д16? Каков его химический состав?

1) баббит, содержащий 16 % олова; 2) латунь, содержащая 16 % цинка; 3) сталь, содержащая 16 % меди; 4) деформируемый алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой, - дюралюмин. Состав устанавливают по стандарту.

17. Какой из алюминиевых сплавов, марок АМг2Н1 или АМг5оч, обладает большей прочностью?

1) АМг2Н1 прочнее в связи с деформационным упрочнением; 2) АМг5оч прочнее в связи с большей легированностью; 3) прочность обоих сплавов примерно одинакова; 4) на поставленный вопрос можно ответить только при одинаковых сплавах или при равных чистоте и виде обработки.

18. К какой группе металлов относится титан?

1) к благородным; 2) к редкоземельным; 3) к тугоплавким; 4) к легкоплавким.

19. Какие кристаллические решетки имеют полиморфные модификации титана?

1) α-ОЦК, β-ГПУ; 2) α-ГЦК, β –ОЦК; 3) α -ГПУ, β –ОЦК; 4) α -ГПУ, β -ГЦК.

20. Ti имеет две аллотропические модификации: α - с ГПУ решеткой и β - с решеткой ОЦК. Какая из модификаций высоко- или низкотемпературная более пластична?

1) пластичность не зависит от типа кристаллической решетки. Ее величина является опытной характеристикой; 2) β-Ti более пластичен; 3) в обеих модификациях титан одинаково пластичен; 4) в низкотемпературной модификации титан более пластичен.

21. Как влияют на температуру полиморфного превращения титана алюминий, молибден, олово?

1) Sn - повышает, A1 - снижает, Mo - практически не влияет; 2) Al -

повышает, Mo - снижает, Sn - практически не влияет; 3) Mo - повышает, Sn - снижает, Al - практически не влияет; 4) Al - повышает, Sn - снижает, Mo - практически не влияет.

22. Каковы основные качественные характеристики магния?

1) низкая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, низкая пластичность; 2) высокая жесткость, низкая плотность, низкие демпфирующие способности, высокая пластичность; 3) высокая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, высокая пластичность; 4) низкая жесткость, низкая плотность, высокие демпфирующие способности, высокая пластичность.

23. Каков тип кристаллической решетки магния?

1) в низкотемпературной модификации - ГПУ, в высокотемпературной – ОЦК; 2) объемно-центрированная кубическая (К8); 3) в низкотемпературной модификации - ОЦК, в высокотемпературной ГЦК; 4) гексагональная плотно-упакованная (Г12).

24. Каковы (ориентировочно) режимы закалки сплавов на основе магния?

1) температура около 100 °С, выдержка до 40 ч, охлаждение в растворах солей; 2) температура около 200 °С, выдержка до 12 ч, охлаждение в масле или на воздухе; 3) температура около 700 °С, выдержка 15 ... 30 мин, охлаждение в холодной воде; 4) температура около 400 °С, выдержка до 24 ч, охлаждение в горячей воде или на воздухе.

25. Каков механизм старения, приводящего к упрочнению закаленных магниевых сплавов?

1) образование в пересыщенном твердом растворе зон Гинье-Престона; 2) полная рекристаллизация структуры сплава; 3) выделение из пересыщенного твердого раствора дисперсных интерметаллидных фаз; 4) образование дополнительных объемов мартенсита.

26. Чем объясняется длительность выдержек, присущая магниевым сплавам, при температурах термообработки?

1) низкой скоростью диффузионных процессов; 2) дефектностью кристаллической структуры сплавов; 3) типом кристаллической решетки магния; 4) высоким уровнем энергии связи атомов в решетке.

27. Какие свойства магниевых сплавов позволяют эффективно

применять их как конструкционные материалы?

1) хорошая обрабатываемость резанием; 2) высокая абсолютная прочность; 3) низкая плотность; 4) высокие удельные механические свойства.

28. Какой сплав обозначают маркой МЛЗТ2?

1) литейный магниевый сплав МЛЗ, дополнительно легированный редкоземельными элементами; 2) закаленный и искусственно состаренный литейный магниевый сплав МЛЗ; 3) отожженный магниевый сплав МЛЗ; 4) магниевый сплав, содержащий 3 % Li и 2 % Ti.

29. Каковы основные признаки подшипниковых сплавов?

1) сплав имеет однофазную структуру; 2) сплав обладает высокой твердостью; 3) сплав имеет многофазную структуру, состоящую из мягкой основы и твердых включений или из твердой основы и мягких включений; 4) сплав имеет мелкозернистое строение.

30. Что такое баббит?

1) латунь с двухфазной структурой; 2) литейный алюминиевый сплав; 3) антифрикционный сплав; 4) бронза, упрочненная железом и марганцем.

8.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Неверно. В выбранном ответе приведены характеристики Mg.

2) Неверно. В выбранном ответе приведены характеристики Pb.

3) Правильно.

4) Неверно. В выбранном ответе приведены характеристики Ti.

2. 1) Медь не обладает полиморфизмом.

2) Правильно.

3) Неверно.

4) Неверно.

3. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Сплав меди с оловом (кроме Sn дополнительно могут быть другие легирующие) называется оловянистой бронзой.

4) Сплавы алюминия с кремнием называются силуминами.

4. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Неверно.

5. 1) Неверно.

2) Правильно.

3) С увеличением концентрации Zn пластичность α-латуней возрастает.

4) С увеличением концентрации Zn прочность α-латуней возрастает.

6. 1) Прочность α + β латуней с увеличением в сплаве концентрации цинка увеличивается.

2) Пластичность (α + β)-латуней с увеличением концентрации цинка уменьшается.

3) Правильно.

4) Неверно.

7. 1) Неверно. У литейных сталей буква Л стоит в конце марки.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно. Бронза сама является сплавом на основе меди.

8. 1) Неверно. Литейные сплавы алюминия маркируют буквами АЛ. В частности марки силуминов АЛ2, АЛ4, АЛ9.

2) Это действительно латунь, но состав сплава расшифрован неверно.

3) Неверно. В марках литейных сталей буква Л стоит в конце. В остальном литейные стали маркируют по общим правилам маркировки сталей.

4) Правильно.

9. 1) Правильно.

2) Неверно. Латуни - это сплавы меди с цинком.

3) Неверно. Инвар - это железоникелевый сплав с очень низким температурным коэффициентом линейного расширения.

4) Неверно. Баббиты - это антифрикционные сплавы на основе олова или свинца.

10. 1) Действительно, алюминий обладает малой плотностью. Прочие свойства выбраны неверно.

2) Алюминий относится к группе легких металлов, поэтому он не может обладать высокой плотностью.

3) Правильно.

4) Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью, так как на

его поверхности образуется плотная окисная пленка.

11. 1) Правильно.

2) Алюминий не обладает полиморфизмом.

3) Неверно.

4) Неверно.

12. 1) От температуры старения зависит характер образующихся упрочняющих фаз, которые определяют прочность сплава.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Повышение прочности сплавов системы Al-Cu достигается старением закаленных сплавов.

13. 1) Правильно.

2) Неверно. Образование зон Гинье-Престона как раз обеспечивает упрочнение сплавов.

3) Неверно. В алюминиевых сплавах мартенситные структуры не образуются.

4) Неверно. Обычно упорядочение твердых растворов сопровождается повышением твердости с одновременным снижением пластичности. Упорядочение для алюминиевых сплавов не характерно.

14. 1) Неверно. Отжиг приближает сплав к равновесию, а возврат - удаляет.

2) Правильно.

3) Структуру, полученную в результате возврата, едва ли можно назвать равновесной.

4) Этот ответ характеризует возврат - стадию рекристаллизационного отжига сталей, но не естественно состаренных алюминиевых сплавов.

15. 1) Неверно.

2) Правильно.

3) Неверно.

4) Неверно.

16. 1) Баббиты (оловянные и некоторые свинцово-оловянные) маркируют буквой Б, например, Б16 (16 % олова).

2) Латуни маркируют буквой Л, после которой указывается

содержание в сплаве меди.

3) В сталь медь в таком количестве не вводят.

4) Правильно.

17. 1) Деформация действительно упрочняет сплав, но можно ли утверждать, не опираясь на экспериментальные данные, что он стал прочнее сплава иного химического состава.

2) АМг5оч действительно содержит больше упрочняющих легирующих элементов. Но ведь сплав АМг2 подвергнут упрочняющей обработке.

3) Для подобного утверждения, не опирающегося на экспериментальные данные, нет оснований.

4) Правильно.

18. 1) К благородным металлам относятся серебро, золото, металлы группы платины. К группе благородных относят также медь.

2) Неверно. В группу редкоземельных металлов входят лантаноиды и сходные с ними иттрий и скандий.

3) Правильно.

4) Температура плавления титана выше $T_{пл}$ железа. Следовательно, Ti никак не может относиться к легкоплавким металлам.

19. 1) Неверно.

2) Титан в модификации α имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

3) Правильно.

4) Титан в модификации β имеет объемно-центрированную кубическую кристаллическую решетку.

20. 1) Неверно. Пластичность материала определяется числом плоскостей легкого скольжения в кристаллической решетке.

2) Правильно.

3) Неверно. Решетка ГПУ имеет меньше плоскостей легкого скольжения, чем ОЦК. Следовательно, в состоянии α титан менее пластичен.

4) Неверно. Низкотемпературная модификация имеет ГПУ кристаллическую решетку, имеющую меньше плоскостей легкого скольжения, чем ОЦК и, следовательно, менее пластичную.

21. 1) В этом ответе влияние всех элементов указано неверно.

2) Правильно.

3) В этом ответе влияние всех элементов указано неверно.

4) В этом ответе влияние олова и молибдена указано неверно.

22. 1) Правильно.

2) Магний, действительно, легкий металл. Остальные характеристики указаны неверно.

3) Магний имеет низкую жесткость и низкую пластичность.

4) Магний обладает низкой пластичностью (относительное удлинение 6... 8 %).

23. 1) Неверно. Магний не имеет полиморфных модификаций.

2) Неверно.

3) Неверно. Магний не имеет полиморфных модификаций.

4) Правильно.

24. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно. Температура 700 °С превышает температуру плавления магния.

4) Правильно.

25. 1) Некоторые магниевые сплавы упрочняются при выделении фаз Гинье-Престона. Однако это не основной механизм упрочнения.

2) Неверно. Рекристаллизационный отжиг и старение - это различные виды термообработки.

3) Правильно.

4) Неверно. При термической обработке магниевых сплавов мартенсит не образуется.

26. 1) Хорошая обрабатываемость резанием или любым иным технологическим методом может лишь способствовать использованию материала, но не является решающим фактором его применимости.

2) Неверно. Магниевые сплавы не обладают высокими абсолютными прочностными свойствами.

3) Низкая плотность безотносительно к прочностным характеристикам не может определять эффективность использования металла в качестве конструкционного материала.

4) Правильно.

27. 1) Многие металлы, несмотря на отсутствие полиморфизма, являются весьма пластичными материалами, например, медь, алюминий, серебро и другие.

2) Правильно.

3) Конечно, увеличение количества дефектов кристаллического строения сверх некоторой величины ведет к снижению пластичности металла. Но в данном случае речь идет о природной характеристике магния.

4) Неверно. Мерилом энергии связи атомов в кристаллической решетке является температура плавления вещества. Для магния этот показатель невелик.

28. 1) Неверно. Обозначение Т2 относится к термической обработке, а не к химическому составу.

2) Неверно. Закалка и старение для получения максимальной твердости в магниевых сплавах обозначается Т6.

3) Правильно.

4) Неверно. Обозначения ЛЗ и Т2 не имеют отношения к легирующим элементам.

29. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

30. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

8.5. Задачи

8.1. Многие изделия изготавливают из латуни вытяжкой из листа в холодном состоянии. Иногда в изделиях обнаруживаются трещины, возникающие без приложения внешних нагрузок (так называемое «сезонное растрескивание»).

Объяснить сущность этого явления и указать способы его предупреждения. Подобрать марку латуни, не подверженной сезонному

растрескиванию. Кроме того, описать структуру, механические и технологические свойства α- и (α + β')-латуней.

Решение задачи. Латуни в зависимости от содержания цинка и структуры можно разделить на три класса:

1. α -латуни ..... до 39,5 % Zn
2. (α + β')-латуни .... 39,5-45,7 % Zn
3. β'-латуни..... 45,7-51 % Zn

Увеличение содержания цинка изменяет структуру и свойства латуни (рис. 8.1). Увеличение содержания цинка до определенного предела повышает пластичность и прочность. Пластичность достигает максимальных значений при 30-32 % Zn, а прочность – при 40 %. При дальнейшем увеличении содержания цинка прочность и пластичность снижаются.

Это изменение свойств определяется свойствами соответствующих фаз, образующихся при введении цинка:

α -фаза – твердый раствор типа замещения, пластичность и прочность которой возрастают по мере увеличения содержания цинка;

β'-фаза – твердый раствор на базе электронного соединения с объемно-центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов;

β'-фаза отличается повышенной хрупкостью и твердостью, поэтому образование β'-фазы снижает вязкость и повышает твердость. При нагреве выше 450 °С β'-фаза превращается в неупорядоченный твердый раствор β, отличающийся большей пластичностью, чем β'-фаза. Из диаграммы состояния видно, что (+ β')-латуни приобретают при таком нагреве однородную структуру β-твердого раствора, а следовательно, и большую пластичность. Эти свойства фаз определяют технологический процесс изготовления изделий из различных сортов латуни, а также их назначение. Изделия из α-латуни изготавливают главным образом холодной или горячей холодной деформацией; обработка резанием не дает достаточно чистой поверхности. Изделия из (α + β')-латуни изготавливают горячей (прессование, штамповка) или холодной деформацией (но без вытяжки) или обработкой резанием.

Изделия из α- или (α + β')- латуней применяют в отожженном или в наклепанном состоянии, поскольку термическая обработка (закалка и отпуск)

не дает заметного эффекта. В наклепанном состоянии (т. е. после холодной деформации) латунь обладает большей прочностью при пониженной пластичности (см. рис. 8.1).

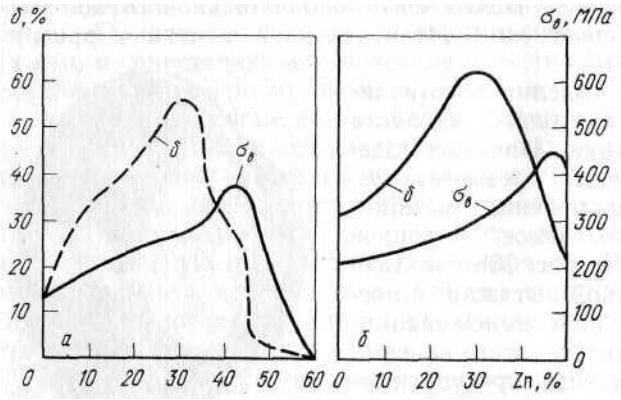


Рис. 8.1. Механические свойства латуни в зависимости от содержания цинка: *а* – литая латунь; б – катаная и отожженная латунь

В результате последующего отжига прочность сплава понижается, но пластичность возрастает (рис. 8.2).

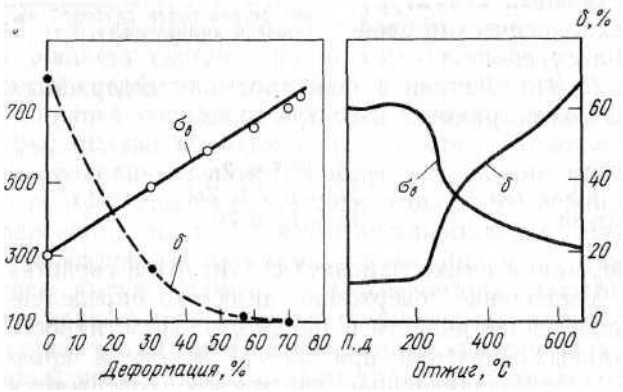


Рис. 8.2. Механические свойства латуни Л70 в зависимости от степени холодной деформации и температуры отжига. П. д. – после деформации

Холодная деформация латуни создает в изделии остаточные напряжения. Они возникают и в результате местной холодной деформации (при изгибе деталей, чеканке, развальцовке и т. п.). При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины. «Сезонное растрескивание» наблюдается главным образом в латунях с содержанием более 20 % Zn и отчетливо обнаруживается, например, в полых изделиях, прутках и т. д. Сезонное растрескивание усиливается в химически активных

средах, особенно в парах аммиака, ртутных солей, ртути, мыльной воде и т. п. Образование трещин является результатом совместного действия остаточных напряжений, созданных холодной деформацией (наиболее опасны растягивающие напряжения) и химически активных сред.

Для предохранения от сезонного растрескивания нужен отпуск с нагревом до 200-300 °С; это снимает большую часть остаточных напряжений и незначительно снижает прочность. Но в условиях изготовления и монтажа конструкций с применением развальцовки, гибки и т. д. не всегда можно избежать возникновения местных, даже незначительных деформаций, а следовательно, и сезонного растрескивания. В таких случаях применяют более дорогие (и имеющие меньшую прочность), но не склонные к сезонному растрескиванию латуни Л96 и Л90.

Механические свойства и состав этих латуней (после прокатки и отжига), а также широко применяемой латуни Л68 и типичной (α + β')-латуни ЛС59-1 приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

Состав и механические свойства латуней

Структурный класс сплава	Марка	Cu, % (остальное Zn)	Примеси (Fe, Si и др.), %	Механические свойства (не менее)	
				σ, МПа	δ, %
α-латунь	Л96 Л90 Л80 Л68	95-97 89-90 79-81 67-70	≤ 0,30 ≤ 0,30 ≤ 0,30 ≤ 0,30	230 270 280 300	35 38 45 55
(α + β')- латунь	ЛС 59-1	58-61	0,75	350 400*	30 15*

		Pb 0,8-1,9			

* Для отожженных лент и листов, а также для прессованных прутков.

Латуни Л96 и Л90 обладают высокой теплопроводностью. Латуни можно заменить алюминиевой бронзой, не склонной к сезонному растрескиванию и обладающей аналогичными значениями прочности и пластичности.

8.2. Червяк редуктора для уменьшения коэффициента трения часто изготавливают из стали, а венец колес – из сплава на медной основе. Указать марку и состав сплава для венца, колеса, обладающего высокими антифрикционными свойствами и временным сопротивлением $\sigma_в$ не ниже 250 МПа. Объяснить, как изменяются механические свойства сплава в зависимости от условий литья (в кокиль или в землю). Указать для сравнения состав, термическую обработку, структуру и механические свойства стали для изготовления червяка редуктора диаметром 30 мм, если временное сопротивление должно быть не ниже 700 МПа.

8.3. Многие детали изготавливают из листа способом глубокой вытяжки. Выбрать состав цветного сплава, обладающего высокой пластичностью и хорошей способностью принимать вытяжку; привести его состав и структуру. Указать режим и назначение термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки для повышения пластичности, а также механические свойства после вытяжки и после термической обработки. Привести состав стали, применяемой для глубокой вытяжки, и сопоставить механические свойства выбранного цветного сплава с аналогичными свойствами стали.

8.4. Некоторые винты, болты, гайки и т. п. изготавливают из латуни на быстроходных станках – автоматах. Латунь, обладающая высокой вязкостью и пластичностью, не получает достаточно чистой поверхности при обработке резанием. Выбрать латунь, применение которой позволяет получить чистую поверхность и высокую производительность при обработке сплава резанием. Сравнить механические свойства и структуру выбранного сплава с аналогичными характеристиками латуни высокой вязкости и пластичности.

8.5. Арматура котлов, работающих в условиях пресной воды и пара под

давлением до 2,5 МПа (краны, вентили и т. п.), а также трубки и корпуса приборов (например, манометров), работающие в аналогичных условиях, изготавливают из цветных сплавов, стойких против коррозии.

Указать состав, способ изготовления, структуру и механические свойства: сплава с хорошими литейными свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием для изготовления арматуры; сплава высокой пластичности в холодном состоянии для изготовления трубок и корпусов приборов.

8.6. Некоторые детали арматуры турбин, котлов и гидронасосов и т. п., работающие во влажной атмосфере и изготавливаемые массовыми партиями литьем, имеют сложную форму. В процессе литья должна быть обеспечена максимальная точность размеров. Указать состав применяемого для этой цели цветного сплава, его структуру и механические свойства; привести способ литья, позволяющий создать требуемую высокую точность отливки с минимальной последующей механической обработкой. Привести химический состав стали для форм, применяемых для литья выбранного сплава, и указать режим термической обработки, а также структуру стали в готовом изделии.

8.7. Многие детали приборов и оборудования, подверженные действию морской воды, изготавливают из цветного сплава путем холодной деформации в несколько операций. Подобрать сплав, стойкий против действия морской воды и привести его химический состав. Указать режим промежуточной термической обработки выбранного сплава и привести его механические свойства после деформации и термической обработки. Сравнить состав стали, стойкой против действия морской воды; привести режим ее термической обработки, механические свойства и структуру.

8.8. Трубки в паросиловых установках должны быть стойки против коррозии. Подобрать марку сплава на медной основе, пригодного для изготовления трубок и не содержащего дорогих элементов; привести состав выбранного сплава. Указать способ изготовления трубок и сравнить механические свойства выбранного сплава, получаемые после окончательной обработки, с механическими свойствами стали, стойкой против коррозии в тех же средах.

8.9. В химическом машиностроении применяют специальные латуни для изготовления литьем коррозионностойких тяжело нагруженных деталей.

Выбрать марку сплава с временным сопротивлением не ниже 450 МПа, привести его состав, механические свойства, структуру и указать, в каких средах такой сплав является устойчивым. Сопоставить механические свойства латуни выбранного состава с аналогичными свойствами латуни ЛС59-1 и указать область применения латуни ЛС59-1.

№ 8.10. Необходимо изготовить зубчатые колеса из сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Сплав должен иметь временное сопротивление не ниже 350 МПа. Объяснить, почему в таких случаях не применяют нержавеющую сталь, стойкую против коррозии в условиях воды и пара. Указать состав и структуру цветного сплава, не содержащего дорогих элементов и пригодного для изготовления подобных зубчатых колес.

8.11. Вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей внутреннего сгорания изготавливают из бронзы, отличающейся высокими антифрикционными свойствами и не содержащей особо дорогих элементов. Подобрать состав сплава и привести способ изготовления из него деталей, указать его строение и механические свойства, а также причины, по которым подобный сплав хорошо работает в условиях износа. Для сравнения привести состав и строение других антифрикционных сплавов, обладающих более низкими температурами плавления и применяемых для заливки подшипников.

8.12. Каркас самолета, рассчитанного на полет с дозвуковыми скоростями и воспринимающего значительные нагрузки, изготавливают часто из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400 МПа. Привести состав и плотность сплава, а также режим термической обработки, структуру. Указать его механические свойства после каждой операции термической обработки, объяснив, какие превращения в сплаве соответствуют повышению прочности. Сопоставить механические свойства выбранного сплава 386 с механическими свойствами хромоникелевой нержавеющей стали. При сопоставлении учесть, что детали должны обладать максимальной удельной прочностью при данной температуре.

8.13. Для труб и других деталей, работающих в горячей азотной кислоте и в растворах хлористых солей, необходимы металлические сплавы, имеющие значительно большую стойкость, чем нержавеющие стали. Выбрать марку

сплава и охарактеризовать его стойкость против коррозии в сравнении со сталью 12Х18Н10Т.

8.14. Вращающиеся детали многих установок реактивной техники, нагревающихся до 500-600 °С, необходимо изготовлять из сплавов с меньшей плотностью (~4,5 т/м^3), чем у стали. Выбрать марку сплава и сравнить его жаропрочность (длительную прочность для 1000 ч) при 500 °С с аналогичными свойствами дюралюмина и жаропрочной стали 12Х18Н9Т.

8.15. Бесшовные трубы опреснительных установок, подающие морскую воду, нагретую до 80-120 °С, целесообразно для повышения их долговечности изготовлять из сплава со значительно большей стойкостью против коррозии в этих условиях, чем у нержавеющей стали. Выбрать марку сплава и сопоставить его свойства со свойствами нержавеющей стали 12Х18Н9Т.

8.16. Нержавеющие стали, в том числе высоколегированные аустенитного класса, не имеют достаточной стойкости в соляной кислоте. Выбрать металл с плотностью ~ 4,5 т/м^3 для баков и трубопроводов, обладающий высокой стойкостью в указанных условиях, и сравнить механические свойства выбранного сплава с аналогичными свойствами нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

8.17. Головки цилиндров поршневых автомобильных двигателей, работающих при повышенных температурах, изготавливают из легких сплавов литьем. Привести химический состав сплава, применяемого для этой цели, указать роль отдельных компонентов сплава, его структуру и механические свойства.

8.18. Поршни многих двигателей внутреннего сгорания изготавливают из деформируемого сплава на алюминиевой основе с добавками легирующих элементов, способствующих сохранению механических свойств при нагреве до 250-300 °С. Указать состав и свойства сплава на алюминиевой основе, применяемого для этой цели, а также рекомендовать состав сплава на основе титана, обладающего повышенной прочностью при температурах до 400-500 °С и, таким образом, пригодного для изготовления поршней, работающих при более высоких температурах.

8.19. Сварные топливные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в авиапромышленности из

легких листовых сплавов, обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и способностью хорошо принимать сварку. Рекомендовать состав сплава, пригодного для данного назначения, указать его структуру и механические свойства. Для сравнения привести химический состав, а также режим термической обработки и структуру стали, стойкой против коррозии в указанных средах.

8.20. Уменьшение массы поршня в двигателях внутреннего сгорания дает повышение мощности. Рекомендовать состав сплава с минимальной плотностью, пригодного для изготовления поршней. Указать химический состав сплава, его механические свойства и режим обработки. Сопоставить плотность и механические свойства выбранного сплава с аналогичными характеристиками сплавов на алюминиевой основе, применяемых для изготовления поршней.

9. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

9.1. Методические указания

Для неметаллических материалов необходимо знание основных свойств, позволяющих правильно оценить техническую и экономическую целесообразность применения того или иного материала.

Обратите внимание на принципиальное отличие композиционного материала, заключающееся в сочетании разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. В связи с тем, что композиционный материал обладает свойствами, которыми не может обладать ни один из его компонентов в отдельности, такие материалы становятся весьма перспективными в различных областях новой техники. Укажите свойства композитов в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и взаимного расположения наполнителя. Уясните возможность использования композиционных материалов в качестве жаропрочных материалов и способы повышения их жаропрочности.

Обратите внимание на особенности строения полимеров, которые определяют их механические и физико-химические свойства. Классификацию полимеров рассмотрите с учетом особенностей их состава и строения.

Пластические массы - искусственные материалы, получаемые на основе

полимеров. Изучите различные группы пластических масс, их свойства и области применения. Следует помнить, что свойства пластмасс практически полностью определяются их составом: связующим, наполнителем, красителем, пластификатором и др. Уясните их преимущества по сравнению с черными и цветными металлами, области применения.

Как технический материал резина отличается от других материалов высокими эластичными свойствами, что связано со свойствами самой основы резины - каучука. Уясните состав резины, способы получения и влияние различных добавок на ее свойства. Подробно рассмотрите влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико-механические свойства и области применения резины различных марок.

Обратите внимание на внутреннее строение неорганического стекла. Разберитесь в изменении свойств стекла в зависимости от состава. Рассмотрите стеклокристаллические материалы (ситаллы) и их отличие от стекла минерального. При изучении керамических материалов обратите внимание на отличие технической керамики от обычной. Разберитесь в химическом и фазовом составах технической керамики, ее свойствах и области применения.

Разберитесь с группами твёрдых сплавов, их структурой и назначением. Обратите внимание на рабочие температуры твёрдых сплавов и их основные механические свойства. Изучите основные группы режущей керамики, ее особенности и эксплуатационные характеристики, область применения. При изучении сверхтвёрдых материалов обратите внимание на их теплостойкость, ограничивающую их применение в качестве инструментального материала.

9.2. Краткие теоретические сведения

Композиционными называют материалы, состоящие из основы (матрицы) и конструктивных элементов (наполнителей), разделенных четко выраженной границей и свойства которых резко отличаются.

Матрица объединяет все компоненты композиционного материала в единое целое. От свойств матрицы зависят технологические режимы получения композиционных материалов и эксплуатационные характеристики

– рабочая температура, сопротивление усталостному разрушению, плотность и удельная прочность.

В технике используют композиционные материалы с металлическими, неметаллическими матрицами и полиматричные материалы, в которых чередующиеся слои матрицы имеют различный состав. В качестве металлической основы широко применяют алюминий, магний, никель, титан, сталь. Неметаллическая основа может быть полимерной, углеродной, керамической.

В матрице равномерно распределены компоненты, наполняющие и упрочняющие композиционный материал - *упрочнители и армирующие материалы.* Материалы, используемые в качестве наполнителей, должны обладать высоким модулем упругости, высокой прочностью, термостойкостью и химической инертностью по отношению к матрице.

По геометрическим параметрам армирующие материалы могут быть нуль-мерными, одномерными и двумерными, т. е. порошки, волокна и слои. В зависимости от формы наполнителя композиты делят на дисперсно-упрочненные, волокнистые, слоистые и комбинированные.

Композиционные материалы по удельной прочности, жесткости, прочности при высокой температуре, сопротивлению усталостному разрушению и другим свойствам значительно превосходят многие металлические сплавы. Их преимущество заключается в том, что уровень свойств заранее проектируется и реализуется в процессе изготовления, при этом материалу придают форму готовой детали (изделия).

Полимеры – высокомолекулярные соединения, молекула которых состоит из большого числа повторяющихся групп атомов, имеющих одинаковое строение (мономеров).

Полимеры получают в результате синтеза из низкомолекулярных соединений методами полимеризации или поликонденсации.

Свойства полимерных материалов определяются их химическим составом и строением макромолекул. По строению различают следующие основные типы макромолекул: линейные, разветвленные, пространственные.

Полимерные материалы с линейной или разветвленной структурой макромолекул высокоэластичны. Они способны обратимо размягчаться при нагреве и затвердевать при охлаждении без участия химических реакций.

Такие материалы называют *термопластами.* Этот процесс можно повторять многократно.

Полимеры с пространственными макромолекулами имеют повышенную тепловую и химическую стойкость. Образование подобной структуры и связанное с ним необратимое затвердевание материала протекает при участии химических реакций. Такие полимеры, а также пластмассы на их основе называют *термореактивными.* Перевести однажды затвердевшую термореактивную смолу в вязкотекучее или высокоэластичное состояние нельзя.

Пластмасса – искусственный материал на основе природных или синтетических полимеров, способный принимать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

По составу пластмассы подразделяют на *простые*, в состав которых входят только полимеры, и *сложные*, в которые помимо полимеров входят другие вещества (наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители и др.).

Наполнители позволяют получать пластмассы с разными свойствами. Наполнители могут быть как органическими, так и неорганическими веществами. По структуре наполнители бывают порошкообразными, волокнистыми, листовыми и газообразными. Пластмассы с ориентированным волокнистым наполнителем и с листовым наполнителем (слоистые пластмассы) обладают ярко выраженной анизотропией механических свойств. По назначению пластмассы подразделяют на ряд групп: конструкционные, электроизоляционные, химически стойкие, фрикционные, тепло- и звукоизоляционные, светотехнические и др.

Резина – высокоэластичный материал, изготовленный из каучуков (натуральных и синтетических) с добавками серы и других связующих элементов.

*Каучу*к – это природный полимер с линейной либо разветвлённой структурой. Недостатком каучука является его невысокая эластичность. Для получения высокоэластических свойств каучук переводят в редкосетчатый полимер посредством вулканизации.

В зависимости от количества серы степень сетчатости и свойства резины изменяются. До 5 % S образуется редкосетчатая резина с высокой

эластичностью; при 30 % S сетка становится настолько густой, что материал теряет эластичность – образуется эбонит.

Для увеличения прочности и износостойкости в состав резины входят наполнители (сажи, оксид кремния или титана). Обозначаются резины начальными буквами каучуков, являющихся их основой: НК – натуральный каучук, СК – синтетический каучук.

Прочность различных резин колеблется от 5-8 МПа до 40-42 МПа, а эластичность от 700-800 % до 350-400 %, соответственно.

По назначению резины подразделяют на резины общего и специального назначения. Резины общего назначения работают в воде, на воздухе, в слабых растворах щелочей и кислот. Температурный интервал их работы от –50 до +130 °С. К резинам общего назначения относят НК, СК. Из них изготавливают шины, ремни, транспортерные ленты, изоляцию кабелей, различные резинотехнические изделия.

Резины специального назначения делят на маслобензостойкие, химически стойкие, теплостойкие и химически термостойкие.

Неорганическое стекло – твёрдый, прозрачный материал с аморфной структурой. Основным компонентом стекол является оксид кремния с добавками различных оксидов. В зависимости от добавок меняются свойства и получаются различные сорта стёкол. Например, оксиды Al_2O_3, TiO_2 повышает прочность, термо- и химическую стойкость стёкол, а оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов снижает указанные свойства, но облегчает технологичность их производства.

Стекло – термопластичный материал, при нагреве его вязкость уменьшается, оно постепенно размягчается и становится жидкостью. Стекла отличаются высокой хрупкостью. Механическая прочность стекол на сжатие составляет 400-700 МПа (на растяжение – 50-100 МПа). Для повышения механических свойств используют различные способы их поверхностного упрочнения путём химической, термической и термомеханической обработок.

Ситалл – это поликристаллический непрозрачный материал, полученный путем направленной кристаллизации стекол специального состава. В отличие от неорганических стекол, свойства которых определяются химическим составом, для ситаллов главным фактором, регулирующим свойства, является структура, определяемая количеством и

дисперсностью добавляемой кристаллической фазы. При изготовлении ситаллов добавляют либо оксиды (SiO_2, Al_2O_3, NaF), либо чистые металлы (Ag, Au, Pt).

Ситаллы имеют высокую твердость, предел прочности при изгибе 150-500 МПа, высокую термо- (700-800 °С) и химическую стойкость. Интервал рабочей температуры от –50 до +700 °С. Из ситаллов изготовляют подшипники для работы без смазки при температуре 540 °С, поршни и цилиндры двигателей внутреннего сгорания, химическую посуду, подложки тонкопленочных и гибридных интегральных схем.

Керамика – неорганический материал, получаемый из минеральных масс в процессе высокотемпературного (1200 – 2500 °С) обжига.

Керамические материалы изготавливают на основе глины или синтезированных материалов различного химического и фазового состава. Такая керамика содержит минимальное количество или совсем не содержит глины. Основными компонентами технической керамики являются оксиды и бескислородные соединения металлов.

Твердые сплавы - это инструментальные материалы, состоящие из частиц карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), объединенных металлическим связующим компонентом (кобальтом), изготавливаемые методом порошковой металлургии. Твердые сплавы обладают высокой твердостью (до 90-92 HRA), износостойкостью, красностойкостью (900-1100 °С).

Существуют сплавы следующих групп: вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые.

Вольфрамовые сплавы, например ВК2, ВК8, ВК15, ВК25, состоят из карбидов вольфрама и металлического кобальта (число, стоящее в марке сплава после буквы К, указывает на процентное содержание кобальта). Чем больше в сплаве карбида вольфрама, тем сплав тверже, но тем более он хрупок. Вязкость сплава, дающая возможность воспринимать ударные нагрузки, обеспечивается кобальтом.

Титановольфрамовые сплавы, например Т5К10, Т15К6, Т30К4, изготавливают из карбидов титана, карбидов вольфрама и металлического кобальта. В марке сплава число, стоящее после буквы Т, указывает на содержание в шихте сплава карбида титана в процентах; число после К -

содержание кобальта. Содержание карбида вольфрама определяют по разности. Так, в шихте твердого сплава Т5К10 содержится 5 % TiC, 10 % Co и 85 % WC. Карбид титана обладает еще более высокой твердостью, чем карбид вольфрама. Чем больше в сплаве TiC (точнее твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана), тем большей твердостью и износостойкостью обладает сплав. Наиболее тверд сплав Т30К4. Сплавы с большим содержанием кобальта (Т15К6, Т5К10) менее тверды, но обладают большей эксплуатационной прочностью. Применяют титановольфрамовые сплавы главным образом для обработки сталей.

Титанотанталовольфрамовые сплавы изготавливают из карбидов титана, карбидов тантала, карбидов вольфрама и металлического кобальта. Например, шихта сплава ТТ7К12 содержит 7 % карбидов титана и тантала, 81 % карбида вольфрама и 12 % кобальта. Применяют титанотанталовольфрамовые сплавы для черновой (например, сплав ТТ7К12) и чистовой (например, сплав ТТ8К6) обработки труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сталей, титановых сплавов и др.).

9.3. Вопросы

1. Какой материал называют композиционным?

1) материал, составленный различными компонентами, разделенными в нем ярко выраженными границами; 2) материал, структура которого представлена матрицей и упрочняющими фазами; 3) материал, состоящий из различных полимеров; 4) материал, в основных молекулярных цепях которого содержатся неорганические элементы, сочетающиеся с органическими радикалами.

2. Какие композиционные материалы называют дисперсно-упрочненными?

1) материалы, упрочненные частицами второй фазы, выделившимися при старении; 2) материалы, упрочненные полностью растворимыми в матрице частицами второй фазы; 3) материалы, упрочненные нуль-мерными наполнителями; 4) материалы, упрочненные одномерными наполнителями.

3. Как зависит прочность дисперсно-упрочненных композиционных материалов от содержания наполнителя?

1) если наполнитель по прочности превосходит матрицу, то увеличение его содержания приведет к повышению прочности, в противном случае - к понижению; 2) с увеличением содержания наполнителя прочность растет; 3) прочность мало зависит от содержания наполнителя, но определяется его дисперсностью; 4) прочность зависит в основном от расстояния между частицами наполнителя и их дисперсности.

4. Каким методом получают дисперсно-упрочненные композиционные материалы?

1) методами обработки давлением; 2) самораспространяющимся синтезом; 3) методами порошковой металлургии; 4) литьем под давлением.

5. Как влияет увеличение объемного содержания волокнистого наполнителя на прочность композиционного материала?

1) прочность не зависит от содержания наполнителя; 2) влияние на прочность неоднозначно; 3) прочность растет; 4) прочность снижается.

6. Как влияет в волокнистом композиционном материале соотношение модулей упругости наполнителя и матрицы $(E_н/E_м)$ на распределение нагрузки между волокнами и матрицей?

1) соотношение ($E_н/E_м$) не влияет на распределение нагрузки; 2) чем больше ($E_н/E_м$), тем больше нагружена матрица; 3) влияние ($E_н/E_м$) на распределение нагрузки неоднозначно; 4) чем больше ($E_н/E_м$), тем более нагружено волокно.

7. Что такое борсик?

1) ткань специального плетения из волокон бора; 2) волокна бора с выращенными на них поперечными кристаллами карбида кремния; 3) волокнистый композиционный материал, упрочненный волокнами бора; 4) волокна бора, пропитанные силикатным стеклом.

8. К каким материалам относится САП-1?

1) к дисперсно-упрочненным композиционным материалам на алюминиевой основе; 2) к термореактивным пластмассам с порошковым наполнителем; 3) к антифрикционным чугунам с пластинчатым графитом; 4) к фрикционным спеченным материалам на основе меди.

9. Какой из перечисленных в ответах материалов можно использовать для изготовления деталей ракетного двигателя, работающих при температуре 1200 °С?

1) ВДУ-1; 2) САП-1; 3) ВКА-1; 4) КАС-1.

10. Какие вещества называют полимерами?

1) вещества, полученные полимеризацией низкомолекулярных соединений; 2) высокомолекулярные соединения, основная молекулярная цепь которых состоит из атомов углерода; 3) высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа мономерных звеньев; 4) органические соединения, состоящие из большого числа одинаковых по химическому составу мономеров.

11. Какой из наполнителей пластмасс: слюдяная мука, асбестовые волокна, стеклянные нити - полимерный материал?

1) ни один из названных наполнителей не полимер; 2) стеклянные нити; 3) асбестовые волокна и слюдяная мука; 4) все названные наполнители - полимеры.

12. В основной цепи полимера, кроме углерода, присутствуют атомы фтора и хлора. Какое из свойств, перечисленных в ответах, можно ожидать у полимерного материала?

1) повышенную газонепроницаемость; 2) высокую химическую стойкость; 3) повышенную эластичность; 4) высокие диэлектрические свойства.

13. Какие из перечисленных в ответах свойств характеризуют полярные полимерные материалы?

1) высокие диэлектрические свойства; 2) хорошая адгезионная способность; 3) высокая морозостойкость; 4) слабовыраженная температурная зависимость свойств.

14. Какие полимерные материалы называют термопластичными?

1) материалы, обратимо затвердевающие в результате охлаждения без участия химических реакций; 2) материалы с редкосетчатой структурой макромолекул; 3) материалы, формуемые при повышенных температурах; 4) материалы, необратимо затвердевающие в результате химических реакций.

15. Какова структура макромолекул термореактивных полимерных материалов?

1) ленточная, или пространственная; 2) разветвленная, или паркетная; 3) сетчатая, или цеповидная; 4) линейная, или редкосетчатая.

16. Какие материалы называют пластмассами?

1) материалы органической или неорганической природы, обладающие высокой пластичностью; 2) высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа мономерных звеньев; 3) искусственные материалы на основе природных или синтетических полимерных связующих; 4) материалы, получаемые посредством реакций полимеризации или поликонденсации.

17. Какие пластмассы называют термореактивными?

1) пластмассы, в состав которых включены наполнители, например, меняющие характер надмолекулярной структуры; 2) пластмассы, обратимо затвердевающие в результате охлаждения без участия химических реакций; 3) пластмассы на основе полимеров с линейной или разветвленной структурой макромолекул; 4) пластмассы, необратимо затвердевающие в результате химических реакций.

18. Пластмассы на основе фенолформальдегидной смолы необратимо затвердевают при формовании изделий. Какую структуру макромолекул смолы можно ожидать?

1) пространственную, или ленточную; 2) разветвленную, или паркетную; 3) линейную, или разветвленную; 4) сетчатую, или линейную.

19. Что такое текстолит?

1) ненаполненная пластмасса на основе термопластичных полимеров; 2) пластмасса с наполнителем из направленных органических волокон; 3) пластмасса на основе термореактивного полимера с наполнителем из хлопчатобумажной ткани; 4) термореактивная пластмасса с наполнителем из стеклоткани.

20. Какой из перечисленных в ответах материалов предпочтителен для изготовления подшипников скольжения?

1) фторопласт-4; 2) ударопрочный полистирол; 3) фенопласт; 4) асбоволокнит.

21. Какой из перечисленных в ответах материалов предпочтителен для изготовления тормозных накладок?

1) текстолит; 2) винипласт; 3) асботекстолит; 4) стекловолокнит.

22. Сколько процентов вольфрама и ванадия (W и V) содержит сталь Р18К5Ф2?

1) в этой стали вольфрама нет, V - 5 %; 2) W - 2 %, V - 18 %; 3) W -

18 %, V-2 %; 4) W- 18 %, V- 5 %.

23. Какой из перечисленных в ответах технологических методов применяют для получения твердых сплавов?

1) обработку сверхвысоким давлением в сочетании с высоким нагревом; 2) порошковую металлургию; 3) литье с последующей термической обработкой; 4) термомеханическую обработку.

24. Какова роль кобальта в твердом сплаве?

связующий компонент 1) увеличивает вязкость сплава; 2) увеличивает износостойкость сплава; 3) увеличивает твердость сплава. 4) увеличивает красностойкость сплава.

25. Какова роль карбида вольфрама (WC), входящего в состав твердых сплавов?

1) WC играет роль связующего материала; 2) WC обеспечивает вязкость сплава; 3) WC обеспечивает твердость сплава; 4) WC обеспечивает прочность сплава.

26. Как называется сплав Т15К6? Каков его химический состав?

1) сталь. Содержит более 1 % углерода, 15 % титана, 6 % кобальта; 2) медный сплав. Содержит 15 % тантала, 6 % кремния, остальное – медь. 3) Алюминиевый сплав. Состав устанавливается по ГОСТу; 4) Твердый сплав. Содержит 15 % карбида титана, 6 % кобальта, 79 % карбида вольфрама.

27. Какой из приведенных в ответах инструментальных материалов обладает наибольшей красностойкостью?

1) У8А; 2) Р6М5; 3) Т30К4; 4) Алмаз.

28. Входящие в состав твердых сплавов карбиды тугоплавких металлов хрупки. Почему же не разрушаются инструменты, работающие с большими ударными нагрузками, например, штампы?

1) вязкость твердых сплавов обеспечивается связующим компонентом; 2) уменьшение ударных нагрузок достигается конструктивными решениями (амортизаторы, демпферы и др.); 3) для таких инструментов твердые сплавы не применяют; 4) увеличение ударной вязкости достигается специальной смягчающей термообработкой.

29. Какой из приведенных в ответах инструментальных материалов следует применить для чистовой обработки стального закаленного изделия?

1) ВК15; 2) Р6М5; 3) У8А.; 4) Т30К4.

30. Какой из приведенных в ответах твердых сплавов предпочтителен для черновой обработки отливки из серого чугуна?

1) ВК3; 2) Т30К4; 3) ВК25; 4) ВК8.

9.4. Пояснения к ответам на вопросы

1. 1) Правильно.

2) Неверно. Под такое определение подходят, например, состаренные алюминиевые сплавы, не являющиеся композиционными материалами.

3) Понятие «композиционные материалы» охватывает значительно более широкий круг материалов.

4) Неверно. Такие материалы называются элементоорганическими полимерами.

2. 1) Неверно. Под такое определение подходят, например, состаренные алюминиевые сплавы, не являющиеся композиционными материалами.

2) Неверно. Одно из требований, предъявляемых к композиционным материалам, - отсутствие растворимости частиц упрочняющей фазы в материале матрицы.

3) Правильно.

4) Неверно. Одномерным наполнителем упрочнены волокнистые композиционные материалы.

3. 1) Применяемые в композиционных материалах наполнители по прочности, твердости и модулю упругости значительно превосходят матрицу.

2) Прочность в зависимости от количества упрочняющей фазы не подчиняется закону аддитивности. Оптимальное содержание второй фазы обычно не превышает 5 ... 10 % (объемных).

3) Прочность зависит от дисперсности частиц наполнителя, но она не может не зависеть от его содержания.

4) Правильно.

4. 1) При получении таких материалов давление обычно применяют как элемент технологии, но сам метод иной.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

5. 1) Неверно.

2) Правильно.

3) При большом (более 80 %) и малом (менее 5 %) содержании наполнителя увеличение его объемного содержания ведет к уменьшению прочности.

4) В интервале 5 ... 80 % увеличение содержания наполнителя ведет к повышению прочности материала.

6. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

7. 1) Неверно.

2) Правильно.

3) Неверно.

4) Неверно.

8. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Неверно.

9. 1) Правильно.

2) Неверно. Алюминиевая матрица не может существовать при такой температуре.

3) Неверно. Алюминиевая матрица не может существовать при такой температуре.

4) Неверно. Алюминиевая матрица не может существовать при такой температуре.

10. 1) Полимеры получают не только путем полимеризации, но и путем поликонденсации.

2) Такие соединения представляют собой лишь одну из разновидностей полимеров, а именно карбоцепные.

3) Правильно.

4) Неверно. Полимерами могут быть не только органические соединения. Входящие в состав полимеров мономерные звенья не обязательно должны иметь одинаковый химический состав.

11. 1) Неверно.

2) Ответ неполон. К неорганическим полимерам относится не только стекло.

3) Ответ неполон. Все перечисленные материалы относятся к неорганическим полимерам.

4) Правильно.

12. 1) Повышенную газонепроницаемость полимеру придают присутствующие в основной цепи атомы серы.

2) Правильно.

3) Повышенную эластичность полимеру придают присутствующие в основной цепи атомы кислорода.

4) Неверно.

13. 1) Неверно. Высококачественными диэлектриками являются неполярные полимеры (на основе углеводородов).

2) Правильно.

3) Неверно. Морозостойкость у полярных полимерных материалов низкая.

4) Неверно.

14. 1) Правильно.

2) Неверно. Сетчатая (редкосетчатая) структура характерна для термореактивных материалов.

3) В выбранном ответе дана слишком общая характеристика материалов. Формование изделий при повышенных температурах характерно для многих как неметаллических, так и металлических материалов.

4) Неверно. В выбранном ответе приведена характеристика термореактивных материалов.

15. 1) Правильно.

2) Разветвленная структура характерна для термопластичных материалов.

3) Цеповидная структура характерна для термопластичных материалов.

4) Линейная структура характерна для термопластичных материалов.

16. 1) Неверно. Высокой пластичностью обладают, например, многие

металлы и сплавы, не относящиеся к пластмассам.

2) Неверно. В ответе приведено определение полимеров.

3) Правильно.

4) Эти реакции могут иметь место при получении пластмасс. Однако полимеризация и поликонденсация - это реакции, посредством которых получают полимеры.

17. 1) Неверно. Наполнители могут содержать как термореактивные, так и термопластичные пластмассы.

2) Неверно. Обратимо затвердевают термопластичные пластмассы.

3) Неверно. Линейную или разветвленную структуру макромолекул полимера имеют термопластичные пластмассы.

4) Правильно.

18. 1) Правильно.

2) Разветвленная структура характерна для термопластичных материалов. Фенолформальдегидная смола - термореактивный материал.

3) Линейная или разветвленная структуры характерны для термопластичных материалов. Фенолформальдегидная смола - термореактивный материал.

4) Линейная структура характерна для термопластичных материалов. Фенолформальдегидная смола - термореактивный материал.

19. 1) Неверно. Текстолит - это пластмасса с наполнителем.

2) Пластмассы с наполнителем из направленных органических волокон представляют собой композиционные материалы, называемые органо-волокнитами.

3) Правильно.

4) Неверно. Пластмасса с наполнителем из стеклоткани называется стеклотекстолит.

20. 1) Правильно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Неверно. Асбоволокнит чаще применяют для изготовления тормозных устройств.

21. 1) Неверно. Текстолит чаше применяют как материал для изготовления подшипников скольжения.

2) Неверно.

3) Правильно.

4) Неверно.

22. 1) Неверно. Р18К5Ф2 - быстрорежущая вольфрамосодержащая сталь. Количество W в таких сплавах указывается после буквы Р, количество V -после буквы Ф.

2) Неверно. Р18К5Ф2 - быстрорежущая вольфрамосодержащая сталь. Количество W в таких сплавах указывается после буквы Р, количество V - после буквы Ф.

3) Правильно.

4) Неверно. Ванадий в марках сталей обозначают буквой Ф, а не К.

23. 1) При получении твердых сплавов, действительно используют нагрев до довольно высоких температур, но применяемые давления к сверхвысоким не относятся.

2) Правильно.

3) Неверно.

4) Неверно.

24. 1) Правильно.

2) Неверно. Увеличение количества кобальта в сплаве приводит к снижению износостойкости.

3) Неверно. При увеличении количества кобальта в сплаве твердость последнего снижается.

4) Неверно. Увеличение количества кобальта в сплаве приводит к снижению красностойкости.

25. 1) Неверно.

2) Неверно. Чем больше в сплаве карбида вольфрама (сплавы ВК), тем более он хрупок и менее прочен.

3) Правильно.

4) Неверно. Чем больше в сплаве карбида вольфрама (сплавы ВК), тем более он хрупок и менее прочен.

26. 1) Неверно.

2) Неверно.

3) Неверно.

4) Правильно.

27. 1) Неверно. Красностойкость инструментальных углеродистых сталей равна примерно 200 °С.

2) Неверно. Красностойкость быстрорежущих сталей равна примерно 600 °С.

3) Правильно.

4) Неверно. Алмаз при нагреве выше 800 °С графитизируется.

28. 1) Правильно.

2) Подобные решения вряд ли целесообразны, поскольку они приведут к снижению ударного воздействия на деформируемый материал.

3) Неверно. Для штампов применяют, например, сплав ВК25.

4) Неверно. Твердые сплавы не подвергают смягчающим видам термической обработки.

29. 1) Сплав ВК15 обладает высокой вязкостью, но твердость и износостойкость его для обработки закаленных сталей недостаточна.

2) Быстрорежущие стали не обладают твердостью и красностойкостью, достаточной для обработки закаленных сталей.

3) Сталь У8 (У8А) применяют для изготовления деревообрабатывающего инструмента, зубил, отверток, кернеров и т. п.

4) Правильно.

30. 1) Сплав ВК3 имеет низкую прочность и для черновых видов обработки, сопряженных с ударными нагрузками, не пригоден.

2) Сплав Т30К4 обладает высокой твердостью, но он не достаточно вязок для восприятия ударных нагрузок, сопровождающих черновые виды обработки.

3) Сплав ВК25 применяют для изготовления инструмента, воспринимающего высокие ударные нагрузки, например, для изготовления штампов.

4) Правильно.

9.5. Задачи

9.1. На цилиндрическую деталь летательного аппарата действует растягивающая сила N = 55000 (Н). Деталь имеет длину L = 900 (мм); площадь поперечного сечения S = 95 (мм^2); масса детали M = 450 (г); рабочая

температура детали T = 900 ^{0}C.

Требуется:

1. Выполнить для заданной детали расчеты прочности, плотности и удельной прочности без учета материала детали.

2. Выполнить проектирование композиционного материала (КМ) для заданной детали.

Решение задачи 9.1.

Расчет № 1

1. Рассчитываем предел прочности при растяжении:

$$\left[\sigma^P\right] = \frac{N}{S} = \frac{55000}{0{,}000095} = 578{,}9 \quad \text{МПа}$$

2. Определяем верхнее и нижнее значения плотности детали (плотность КМ допускается меньше на 10 %):

$$G^{\max} = \frac{M}{V} = \frac{0{,}45}{0{,}855 \cdot 10^{-4}} = 5263 \ \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$G^{\min} = G^{\max} - \frac{10}{100} G^{\max} = 5263 - 0{,}1 \cdot 5263 = 4737 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Рассчитываем верхнее и нижнее значения удельной прочности:

$$\sigma_{\text{уд}}^{\max} = \frac{\left[\sigma^P\right]}{G^{\min}} = \frac{5{,}79 \cdot 10^8}{4737} = 0{,}122 \cdot 10^6 \ \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}};$$

$$\sigma_{\text{уд}}^{\min} = \frac{\sigma^P}{G^{\max}} = \frac{5{,}79 \cdot 10^8}{5263} = 0{,}11 \cdot 10^6 \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}.$$

Расчет № 2

Расчеты КМ для данной детали:

Материал матрицы – УУМ. Материал волокон – Al_2O_3.

1. Рассчитываем критическую длину волокон:

$$T_{\text{гр}} = \sigma_{вm} \cdot \cos 45^{\circ} = 350 \cdot 10^6 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 247{,}5 \cdot 10^6 \ \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

$$L_{\text{кр}f} = D_f \cdot \frac{\sigma_{вf}}{2 \cdot T_{\text{гр}}} = 28 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3400 \cdot 10^6}{2 \cdot 247{,}5 \cdot 10^6} = 192{,}3 \ \text{мкм}.$$

2. Рассчитываем объемную концентрацию волокон:

$$V_{f\,\min} = \frac{\left[\sigma^P\right] - \sigma_{вm}}{T_{\text{гр}} \cdot \frac{L_{\text{кр}f}}{D_f} - \sigma_{вm}} = \frac{5{,}789 \cdot 10^8 - 3{,}5 \cdot 10^8}{2{,}47 \cdot 10^8 \cdot \frac{192{,}3 \cdot 10^{-8}}{28 \cdot 10^{-7}} - 3{,}5 \cdot 10^8} = \frac{2{,}289}{13{,}46} = 0{,}17 = 17 \ \%$$

3. Рассчитываем плотность спроектированного КМ:

$$G^{\text{КМ}} = G_m \cdot (1 - V_f) + G_f \cdot V_f = 1930 \cdot (1 - 0{,}17) + 3960 \cdot 0{,}17 = 2275 \ \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

4. Рассчитываем удельную прочность спроектированного КМ:

$$\sigma_{\text{уд}}^{\text{КМ}} = \frac{\sigma_{\text{в}}^{\text{КМ}}}{G^{\text{КМ}}} = \frac{578{,}9 \cdot 10^6}{2275} = 0{,}254 \ \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

5. Проверяем выполнение необходимого условия для спроектированного КМ:

$$\sigma_{\text{уд}}^{\text{КМ}} = 0{,}254 \ \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} > \sigma_{\text{уд}}^{\min} = 0{,}110 \ \ \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Неравенство выполняется. Делаем вывод, что КМ спроектирован правильно.

9.2. На цилиндрическую деталь действует растягивающая сила N = 65000 Н. Деталь имеет длину L = 800 мм; площадь поперечного сечения S = 85 мм^2; масса детали M = 0,350 кг; рабочая температура детали T = 250 ^{0}C.

Требуется:

1. Выполнить для детали расчеты прочности, плотности и удельной прочности без учёта материала детали.

2. Выполнить проектирование композиционного материала (КМ) для заданной детали.

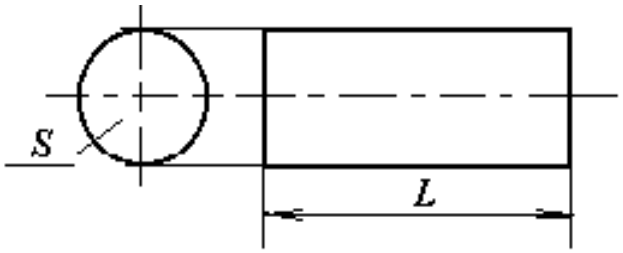


Рис. 9.1. Деталь машины

Исходные данные: N = 65000 Н; M = 0,35 кг; L = 0,8 м; T =250 ^{0}C; $S = 85 \cdot 10^{-6}$ м^2.

Выполнение расчетов:

Часть 1

1. Определяем расчётное напряжение растяжения в детали:

$$\sigma_в = N / S ; \qquad \sigma_в = 7{,}647 \text{ Па}$$

2. Определяем верхнее и нижнее значения плотности детали:

$$Y_{max} = M /(S\,L); \qquad Y_{max} = 5{,}147\ 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$Y_{min} = Y_{max} - (Y_{max} / 100)\ 10^3 ; \quad Y_{min} = 4{,}632\ 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

3. Вычисляем верхнее и нижнее значения удельной прочности:

$$\sigma_{уд_{min}} = \frac{\sigma_в}{\gamma_{max}}; \ \sigma_{уд_{min}} = 1{,}486 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг};$$

$$\sigma_{уд_{max}} = \frac{\sigma_в}{\gamma_{min}}; \ \sigma_{уд_{max}} = 1{,}651 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}.$$

Часть 2

Выбираем в качестве материала матрицы алюминиевый высокопрочный сплав 1950 (В95).

Характеристики материала:

$$\gamma = 2800 \ \frac{кг}{м^3}; \quad W_m = 300 \cdot 10^3 \ \frac{Дж}{кг}; \quad W_{экстр} = 2 \cdot 10^6 \ \frac{Дж}{кг};$$

$$\sigma_{в_m} = 600 \cdot 10^6 \ \text{Па}; \ G_m = 2800 \ \frac{кг}{м^3}.$$

Выбираем в качестве наполнителя керамические волокна Al_2O_3.
Характеристики наполнителя:

d_f = 127 10^{-6} м; σ_f = 2410 10^6 Па; G_f = 3960, кг/м^3; W_f = 950 кДж/кг.

1. 4. Рассчитываем критическую длину волокон:

$$L_{\text{кр}} = \frac{d_f \cdot \sigma_f}{2 \cdot T_{ГР}}, \qquad \text{где} \quad T_{\text{гр}} = \sigma_{\text{в}_m} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right);$$

$$L_{\text{кр}} = 3{,}607 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

2. Расчёт минимальной объёмной концентрации волокон:

$$V_{f_{\min}} = \frac{\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{в}_m}}{\frac{T_{\text{гр}} \cdot L_{\text{кр}}}{d_f} - \sigma_{\text{в}_m}}; \qquad V_{f_{\min}} = \frac{7{,}647 \cdot 10^8 - 600 \cdot 10^6}{\frac{423{,}2 \cdot 10^6 \cdot 3{,}607 \cdot 10^{-4}}{127 \cdot 10^{-6}} - 600 \cdot 10^6} = 0{,}272;$$

$V_{f_{\min}} = 27{,}2$ %.

3. 4. Рассчитываем удельные энергетические затраты на изготовление материалов матрицы и волокна:

$$W_{km} = W_f \cdot V_f + W_m \cdot (1 - V_f); \qquad W_{km} = 2{,}186 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

4. Рассчитываем общие энергетические затраты на изготовление детали из проектируемого КМ:

$$W_{\text{общ}} = W_{km} + W_{\text{экстр}}; \qquad W_{\text{общ}} = 2{,}219 \cdot 10^6 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

5. Рассчитываем плотность спроектированного КМ:

$$G_{km} = G_f \cdot V_f + G_m \cdot (1 - V_f); \qquad G_{km} = 3{,}116 \cdot 10^3 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

6. Рассчитываем удельную прочность для спроектированного КМ:

$$\sigma_{уд_{км}} = \frac{\sigma_в}{G_{км}}; \qquad \sigma_{уд_{км}} = 2{,}454 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}.$$

Имеем: $\sigma_{уд_{км}} = 2{,}454 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}; \qquad \sigma_{уд_{min}} = 1{,}486 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}.$

Как видно $\sigma_{уд_{км}} > \sigma_{уд_{min}}$.

Вывод: Расчёт удельной прочности показывает, что для спроектированного КМ выполняется требование по удельной прочности. Таким образом, для изготовления детали можно выбрать матрицу из сплава 1950 (В95), наполнитель из керамических волокон Al_2O_3 диаметром 127 мкм и длиной 364 мкм при концентрации 27,2 об. %.

9.3. Для изготовления ряда конструкций, массу которых особенно важно снизить, применяют материалы, отличающиеся высокой удельной прочностью и жесткостью. Привести состав и строение подобных материалов, если из-за повышенной температуры службы конструкции нужна повышенная теплостойкость и стабильность размеров деталей конструкций.

9.4. С целью снижения массы деталей различных аппаратов для их изготовления применяют сложные по своей внутренней конструкции материалы, которые помимо высокой удельной прочности обладают также коррозионной стойкостью и износостойкостью. Описать тип подобных материалов, свойства их составляющих и материала в целом, а также возможные способы изготовления из них изделий разного назначения.

9.5. На цилиндрическую деталь массой *M* при температуре *T* действует растягивающая сила *N*. Деталь имеет длину *L* и площадь поперечного сечения *S*.

Требуется:

1. Выполнить для заданной детали расчеты прочности, плотности и удельной прочности без учета материала детали.
2. Выполнить проектирование композиционного материала (КМ) для заданной детали.

Таблица 9.1

Варианты заданий

Номер задания	*L*, мм	*S*, мм^2	*M*, кг	*N*, Н	*T*, ^{o}C
1	950	100	0,50	60000	20
2	900	95	0,45	55000	20
3	850	90	0,60	50000	20
4	800	85	0,35	65000	20
5	800	100	0,45	60000	20
6	800	90	0,40	55000	20
7	850	80	0,55	50000	20
8	950	100	0,50	60000	400
9	900	90	0,60	55000	400
10	850	95	0,35	50000	400
11	900	85	0,30	65000	400
12	950	100	0,65	60000	400
13	850	90	0,40	55000	400
14	900	80	0,35	50000	400
15	950	90	0,45	65000	400
16	950	100	0,55	60000	550
17	900	95	0,45	55000	550
18	850	90	0,60	50000	550
19	800	85	0,35	65000	550
20	800	100	0,65	60000	550
21	850	80	0,40	55000	550
22	900	85	0,35	50000	550

9.6. С целью снижения массы автомобиля и соответственно уменьшения расхода горючего кабину (у грузовых автомобилей) и кузов (у легковых автомобилей) изготовляют уже не из стального листа, а из материалов, отличающихся высокими удельными значениями прочности,

жесткости и хорошей коррозионной стойкостью, а также технологичностью при изготовлении изделий.

Выбрать материал, обладающий указанными свойствами, назвать особенности его строения и описать технологический процесс изготовления из него изделия.

9.7. При выборе режущего инструмента и материала для изготовления на токарных станках-автоматах винтов М8 (шестигранник высотой 12 мм) токарь допустил ошибки и предложил использовать сталь 20 и твердосплавный резец Т30К4. В чем заключаются ошибки? Исправьте их. Обоснуйте выбор типоразмера, материала заготовки и режущего инструмента. Расшифруйте химический состав и укажите свойства выбранных материалов.

№ 9.8. При обработке стали твердостью более НВ 280... 300 резцы из быстрорежущей стали не имеют достаточной стойкости. Укажите состав сплава, обладающего более высокими режущими свойствами. Вследствие высокой стоимости и большей хрупкости такого сплава приведите способ изготовления составных резцов и укажите металл, из которого следует изготовить державку резца. Сопоставьте структуру, твердость, теплостойкость и способ изготовления выбранного сплава с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

10. ТЕСТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО

10.1. Основные свойства материалов

1. Химические элементы, обладающие положительным температурным коэффициентом электросопротивления, называются

1) металлами 2) неметаллами 3) окислителями

2. Наиболее плотно упакованная кристаллическая решетка металла

1) ОЦК 2) ГЦК 3) ГПУ

3. Элементы, для которых характерна термоэлектронная эмиссия

1) неметаллы 2) металлы 3) полуметаллы

4. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку в

ОЦК решетке:

1) 2 2) 4 3) 6

5. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку в ГПУ решетке:

1) 2 2) 4 3) 6

6. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку в ГЦК решетке:

1) 2 2) 4 3) 6

7. Зависимость свойств кристалла от направления, возникающее в результате упорядоченного расположения атомов (ионов) в пространстве:

1) эмиссия 2) полиморфизм 3) анизотропия

8. Способность металла образовывать разные типы кристаллических решеток

1) анизотропия 2) текстура 3) полиморфизм

9. Неравномерность свойств кристалла в различных кристаллографических направлениях называют

1) ликвацией 2) анизотропией 3) текстурой

10. Линейный дефект строения кристаллической решетки

1) дислокация 2) вакансия 3) граница зерна

11. Поверхностный дефект строения кристаллической решетки

1) дислокация 2) вакансия 3) граница зерна

12. Расстояния (*a*, *b*, *c*) между центрами ближайших атомов в элементарной ячейке:

1) плотность упаковки 2) период решетки 3) координационное число

13. Суммарная длина всех линий дислокаций в единице объема называется

1) плотность дислокаций 2) вектор Бюргерса 3) искажение решетки

14. При повышении температуры концентрация вакансий

1) возрастает 2) убывает 3) остается постоянной

15. Двойники - это вид дефектов кристаллического строения

1) точечных 2) линейных 3) поверхностных

16. Плотность дислокаций в изделии, изготовленном холодной штамповкой

1) 10^8 м$^{-2}$ 2) 10^{10} м$^{-2}$ 3) 10^{16} м$^{-2}$

17. Дефект кристаллической решетки, представляющий собой край лишней полуплоскости:

1) вакансия 2) дислокация 3) граница блока

18. Свойство металлических кристаллов, существенно зависшее от плотности дислокаций

1) теплопроводность 2) прочность 3) анизотропи

19. Радиус концентратора напряжений при определении ударной вязкости максимален

1) *KCU* 2) *KCV* 3) *KCT*

20. Изменяется ли коррозионная стойкость при наклепе металла

1) не меняется 2) понижается 3) повышается

21. Напряжения, возникающие в процессе быстрого нагрева, вследствие неоднородного расширения поверхностных и внутренних слоев называются

1) внутренние остаточные 2) структурные 3) тепловые или термические

22. Относительное сужение поликристаллического металла с увеличением степени его холодной деформации

1) остается постоянным 2) увеличивается 3) уменьшается

23. Деформацию, которую проводят при температуре выше температуры рекристаллизации, называют

1) остаточной 2) холодной 3) горячей

24. Металл *а* имеет ОЦК решетку, *в* - ГЦК, *с* - ГПУ наименее пластичным из них будет

1) *а* 2) *в* 3) *с*

25. Упрочнение металла в процессе холодной пластической деформации объясняется

1) уменьшением числа дислокаций

2) увеличением числа дислокаций

3) фазовыми превращениями

26. Температура горячей деформации сплавов

1) (0,3 - 0,4) $T_{пл}$ 2) (0,7 - 0,75) $T_{пл}$ 3) (0,1 - 0,2) $T_{пл}$

27. Закономерная ориентировка кристаллов относительно внешних деформационных сил

1) полиморфизм 2) скольжение 3) текстура

28. Механическое свойство не зависит от структуры металла и определяется силами межатомной связи

1) прочность 2) хрупкость 3) плотность

29. Зависимость между размером зерна и пределом текучести материала

1) зависимости нет

2) прямо пропорциональная

3) обратно пропорциональная

30. Возникновение трещин при разрушении происходит при развитии процесса

1) скопления вакансий 2) скопления дислокаций 3) полигонизации

31. Излом, возникающий при длительном воздействии циклических нагрузок:

1) усталостный 2) хрупкий 3) вязкий

32. Изменение структуры и свойств металлического материала, вызванное пластической деформацией

1) отдых 2) полигонизация 3) наклеп

33. С ростом степени пластической деформации плотность металла

1) остается постоянной 2) понижается 3) повышается

34. Материалы, обычно испытываемые на сжатие:

1) хрупкие 2) пластичные 3) значения не имеет

35. Материалы, обычно испытываемые на сжатие:

1) конструкционные стали 2) чугуны 3) однофазные латуни

36. Материалы, обычно испытываемые на сжатие:

1) силумины 2) конструкционные стали 3) однофазные латуни

37. Материалы, обычно испытываемые на сжатие:

1) инструментальные стали после поверхностного упрочнения

2) конструкционные стали

3) однофазные латуни

38. Материалы, обычно испытываемые на изгиб:

1) хрупкие 2) пластичные 3) значения не имеет

39. Материал, имеющий максимальную трещиностойкость:

1) σ_{02} = 120 МПа 2) $\sigma_{0,2}$ = 500 МПа 3) $\sigma_{0,2}$ = 1000 МПа

40. Хрупкому разрушению соответствует трещина

1) острая ветвящаяся

2) тупая ветвящаяся

3) тупая плавно раскрывающаяся

10.2. Кристаллизация

1. Условия теплоотвода, способствующие образованию столбчатых кристалов

1) наличие температурного градиента

2) отсутствие температурного градиента

3) большая степень переохлаждения

2. Температурный интервал между равновесной и реальной температурой плавления

1) степень переохлаждения

2) степень перегрева

3) температурный гистерезис

3. Разница между равновесной и реальной температурой кристаллизации

1) степень переохлаждения

2) степень перегрева

3) температурный гистерезис

4. Разница между реальной температурой плавления и реальной температурой кристаллизации

1) степень переохлаждения

2) степень перегрева

3) температурный гистерезис

5. Уменьшению размера зерна при разливке модифицированного металла способствует

1) вакуумирование 2) подстуживание 3) перегрев

6. Размер критического зародыша будет максимальным при степени переохлаждения металла

1) 10 К 2) 50 К 3) 100 К

7. Вид физических процессов, к которому относится кристаллизация:

1) сдвиговый 2) диффузионный 3) полиморфный

8. Измельчение зерен металлов и сплавов относится к технологической операции

1) алитирование 2) модифицирование 3) легирование

9. Переход металла из жидкого или парообразного состояния в твердое с образованием кристаллической структуры

1) кристаллизация

2) первичная кристаллизация

3) перекристаллизация

10. Характерное строение для макро- и микроструктуры литого металла (сплава)

1) ячеистое 2) равноосное кристаллическое 3) дендритное

11. Влияние скорости охлаждения на процесс дендритной ликвации сплава

1) ускорит 2) замедлит 3) не влияет

12. Дендритная ликвация проявится в большей мере в сплаве интервалом кристаллизации

1) широким 2) узким 3) средним

13. Мелкие кристаллы, не имеющие ярко выраженной многогранной кристаллической формы

1) зерно 2) блок 3) субзерно

13. У стального слитка усадочная раковина образуется в верхней части

1) кипящей стали 2) полуспокойной стали 3) спокойной стали

14. С увеличением скорости охлаждения степень переохлаждения

1) не изменяется 2) возрастает 3) убывает

15. Фаза, формирующаяся в твердом состоянии при неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состояниях

1) химическое соединение

2) твердый раствор замещения

3) твердый раствор внедрения

16. Горизонтальный отрезок, соединяющий составы фаз, находящихся в равновесии:

1) фигуративная линия 2) конода 3) сольвус

17. Количество фаз, находящихся в равновесии при первичной кристаллизации двухкомпонентного сплава неэвтектического состава:

1) одна 2) две 3) три

18. Правило, определяющее состав фаз в диаграммах состояния двойных систем:

1) правило отрезков 2) правило концентраций 3) правило конод

19. Количество фаз, находящихся в равновесии при эвтектическом превращении в двухкомпонентной системе

1) одна 2) две 3) три

20. Проекция точки пересечения коноды с линией ликвидус на ось концентраций показывает

1) состав жидкой фазы 2) состав твердой фазы 3) состав сплава

10.3. Термическая и химико-термическая обработка

1. Процесс устранения внутренних напряжений при нагреве

1) рекристаллизация 2) возврат 3) полигонизация

2. Изменяется ли временное сопротивление на стадии собирательной рекристаллизации

1) уменьшается 2) увеличивается 3) остается постоянным

3. Изменяется ли относительное удлинение поликристаллического металла с увеличением степени его холодной деформации

1) нет 2) увеличивается 3) уменьшается

4. Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных кристаллов называется

1) рекристаллизация 2) возврат 3) полигонизация

5. Предел текучести наклепанного металла на стадии собирательной рекристаллизации

1) уменьшается 2) увеличивается 3) остается постоянным

6. Относительное удлинение наклепанного металла на стадии собирательной рекристаллизации

1) уменьшается 2) увеличивается 3) остается постоянным

7. Процесс устранения внутренних напряжений при нагреве

1) рекристаллизация 2) возврат 3) полигонизация

8. Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных

1) возврат 2) рекристаллизация 3) полигонизация

9. Термическая обработка для восстановления структуры и свойств наклепанного металла

1) отдых 2) возврат 3) рекристаллизационный отжиг

10. Изменение предела прочности наклепанного металла при первичной рекристаллизации

1) снижается 2) повышается 3) остается постоянным

11. Изменение относительного удлинения на стадии первичной рекристаллизации

1) уменьшится 2) увеличится 3) останется постоянным

12. Превращение, происходящее при нагреве доэвтектоидной стали в интервале температур A_{c1} - A_{c3}

1) перлито-аустенитное

2) феррито-аустенитное

3) цементито-аустенитное

13. Аустенизация пройдет быстрее (при прочих равных условиях) в стали с содержанием углерода

1) 0,1 % 2) 0,4 % 3) 0,8 %

14. Твердость феррито-цементитной смеси зависит от

1) площади межфазовой границы

2) полноты превращения

3) морфологии фаз

15. Сталь, имеющая большую прокаливаемость

1) 40Х 2) 40 3) 45

16. Сталь чувствительнее к закалочным трещинам

1) сталь 45 2) У8 3) Ст 5

17. Большую твердость после закалки будет иметь сталь

1) Ст 0 2) Сталь 60 3) У9

18. Температура нагрева стали У7 под закалку

1) A_{C1} + (30 - 50 °С) 2) A_{C2} + (30 - 50 °С) 3) A_{C3} + (30 - 50 °С)

19. Структура после правильной закалки стали 35

1) мартенсит

2) мартенсит, аустенит остаточный

3) мартенсит, аустенит остаточный, цементит вторичный

20. Термическая обработка, при которой сталь нагревают выше линии "A_{C3}", выдерживают и охлаждают на воздухе

1) полный отжиг 2) нормализация 3) полная закалка

21. Термическая обработка, при которой сталь нагревают выше линии "A_{C3}", выдерживают и охлаждают с печью

1) полный отжиг 2) нормализация 3) полная закалка

22. Термическая обработка, при которой сталь нагревают выше линии "A_{C3}", выдерживают и охлаждают со скоростью выше критической

1) полный отжиг 2) нормализация 3) полная закалка

23. Предотвратить выгорание углерода с поверхности детали при закалке можно

1) снижением температуры закалки

2) изменением закалочной среды

3) созданием в закалочной печи специальной атмосферы

25. Структура после правильной закалки СТАЛИ У13

1) мартенсит

2) мартенсит, аустенит остаточный

3) мартенсит, аустенит остаточный, цементит вторичный

26. Термическая обработка цементуемых изделий

1) отжиг 2) неполная закалка, низкий отпуск 3) полная закалка

27. Структура, которая формируется из аустенита при малых степенях его переохлаждения

1) мартенсит 2) перлит 3) троостит

28. Диффузионное превращение

1) мартенситное 2) бейнитное 3) перлитное

29. Сдвиговое превращение

1) мартенситное 2) бейнитное 3) перлитное

30. Мартенсит отпуска образуется при температуре

1) 150 - 200 °С 2) 350 - 450 °С 3) 500 - 600 °С

31. Троостит отпуска образуется при температуре

1) 150 - 200 °С 2) 350 - 450 °С 3) 500 - 600 °С

32. Сорбит отпуска образуется при температуре

1) 150 - 200 °С 2) 350 - 450 °С 3) 500 - 600 °С

33. Наследственно мелкозернистая сталь раскисляется

1) Si 2) Mn, Si 3) Mn, Si, Al

34. Самая твердая феррито-цементитная смесь

1) перлит 2) троостит 3) сорбит

35. Азотирование детали повышает

1) износостойкость 2) ударную вязкость 3) относительное удлинение

36. Термическая обработка детали типа “вал”, работающей на знакопеременные нагрузки

1) полная закалка, высокий отпуск

2) полная закалка, средний отпуск

3) закалка

37. Недостаток строения стального слитка, подвергнутого гомогенизации:

1) дендритное строение 2) крупное зерно 3) слоистый излом

38. Интенсивность процесса диффузионного насыщения при химико-термической обработке зависит от

1) теплоты активации 2) температуры ХТО 3) скорости нагрева

39. Термическое улучшение

1) закалка с последующим высоким отпуском

2) закалка с последующим средним отпуском

3) закалка с последующим низким отпуском

40. Вид термической обработки, заключающийся в нагреве закаленной стали ниже линии A_{c1}:

1) неполный отжиг 2) отпуск 3) нормализация

41. Наследственно мелкозернистая сталь

1) 08кп 2) 08пс 3) 08сп

42. Сталь, для которой отжиг можно заменить более дешевой термической обработкой - нормализацией

1) малоуглеродистая 2) среднеуглеродистая 3) высокоуглеродистая

43. Сталь чувствительная к закалочным деформациям

1) сталь 45 2) У8 3) Ст 5

44.. Склонность аустенитного зерна к росту учитывается при проведении технологических процессов

1) горячей обработки 2) улучшения 3) химико-термической

45. Сталь, которая практически не закаливается

1) сталь 10 2) сталь 45 3) У13

46. Инструментальные углеродистые стали подвергают отжигу на зернистый перлит с целью

1) повышения твердости

2) снижения твердости перед обработкой резанием

3) уменьшения закалочных напряжений

47. Координаты построения диаграммы изотермического превращения

аустенита

1) температура - концентрация углерода

2) температура - время

3) температура - степень превращения

48. Зависимость между температурой аустенизации и скоростью нагрева

1) зависимости нет

2) выше скорость нагрева - выше температура аустенизации,

3) выше скорость - ниже температура аустенизации

49. Термическим улучшением стали называют

1) закалку с высоким отпуском

2) нормализацию стали

3) отжиг на зернистый перлит

50. Термическая обработка стали, приводящая к образованию равновесной структуры:

1) закалка с высоким отпуском

2) нормализация

3) полный отжиг

10.4. Железоуглеродистые сплавы

1. Фазовый состав сплава, содержащего 0,8 % С по массе при температуре 900 °С

1) аустенит 2) аустенит и цементит 3) феррит и цементит

2. Фазовый состав сплава, содержащего 3 % С, при температуре 900 °С

1) аустенит 2) аустенит и цементит 3) ледебурит

3. Содержание углерода (по массе в процентах) в сплаве эвтектоидного состава

1) 0,8 2) 2,14 3) 4,3

4. Сталь, имеющая структуру перлит и цементит (вторичный)

1) У8А 2) сталь 0,8кп 3) У10

5. Сталь, имеющая максимальное относительное сужение:

1) сталь 10 2) сталь 45 3) У10А

6. Сталь, содержащая в равновесной структуре максимальное количество цементита:

1) сталь 10 2) У10А 3) У8

7. Свойство чугуна, использующееся во вкладышах подшипников скольжения:

1) демпферность 2) антифрикционность 3) жидкотекучесть

8. Чугун, в котором весь углерод находится в виде графита, имеющего пластинчатую форму:

1) серый перлитный 2) серый ферритный 3) ковкий чугун

9. Фазовый состав сплавов, содержащих > 2,14 % с, после завершения первичной кристаллизации

1) аустенит 2) аустенит и цементит 3) ледебурит

10. Укажите (в процентах) содержание углерода в сплавах, в которых проходит полиморфное превращение:

1) 0 - 0,02 2) 0 – 0,8 3) 0 - 2,14

11. Процент углерода (по массе) в последней капле жидкой фазы, при кристаллизации сплава, содержащего 4 % углерода:

1) 4 2) 4,3 3) 6,67

12. Фазы, из которых состоит ледебурит (при температуре 900 °С):

1) феррита и аустенита 2) феррита и цементита 3) аустенита и цементита

13. Количество углерода, находящегося в ферритном сером чугуне в связанном состоянии:

1) менее 0,02 % 2) 0,8 % 3) 2,14 %

14. Структура сплава, содержащего 0,005 % углерода (по массе) при комнатной температуре:

1) ферритная 2) феррито-перлитная 3) феррито-цементитная

15. Фазовый состав сплавов, содержащих > 0,006 % С при комнатной температуре:

1) феррит 2) феррит и цементит 3) феррит и перлит

16. Фазы, из которых состоит ледебурит превращенный

1) феррита и аустенита 2) феррита и цементита 3) аустенита и цементита

17. Сталь имеет максимальный предел прочности

1) У8А 2) сталь 08кп 3) сталь 20

18. Одно трехфазное превращение проходит в сплавах, содержащих углерода (по массе в процентах):

1) > 0,8 2) > 2,14 3) 0,02 - 2,14

19. Изменяется ли концентрация углерода в жидкой фазе при первичной кристаллизации сплава, содержащего 5 % углерода:

1) возрастает 2) убывает 3) остается постоянной

20. Содержание углерода (по массе в процентах) в сплаве эвтектоидного состава

1) 0,8 % 2) 2,14 % 3) 4,3 %

21. Критическая точка полиморфного превращения железа

1) *A* 2) *S* 3) *G*

22. Вредное явление, развивающееся из-за повышенного содержания примеси серы в стали:

1) красноломкость 2) желтоломкость 3) синеломкость

23. Вредное явление, развивающееся из-за содержания примеси фосфора в стали:

1) красноломкость 2) желтоломкость 3) синеломкость

24. Вредное явление, развивающееся из-за примеси водорода в стали:

1) образуются двойники 2) образуются вакансии 3) образуются флокены

25. Количество “горизонтальных площадок” на кривой охлаждения сплава железа с 1 % С

1) одна 2) две 3) не будет

26. Количество “горизонтальных площадок” на кривой охлаждения сплава железа с 5 % С

1) одна 2) две 3) не будет

27. Количество “горизонтальных площадок” на кривой охлаждения сплава железа с 0,01 % С

1) одна 2) две 3) не будет

28. Количество “горизонтальных площадок” на кривой охлаждения

сплава железа с 0,005 % С

1) одна 2) две 3) не будет

29. Охлаждается толстостенная и тонкостенная отливка из чугуна одного и того же состава. В структуре какой отливки следует ожидать большего количества перлита?

1) тонкостенной 2) толстостенной 3) различия не будет

30. Процесс в железоуглеродистых сплавах

1) эвтектическое превращение

2) эвтектоидное превращение

3) первичная кристаллизация

31. Процесс образования в железоуглеродистых сплавах при 727 ^{o}C сплава состава перлит + цементит

1) эвтектическое превращение

2) эвтектоидное превращение

3) первичная кристаллизация

32. Чугуны, получаемые модифицированием:

1) ковкие и серые

2) высокопрочные и вермикулярные

3) белые и графитизированые

33. Если отношение длины графитного включения к его ширине больше 10, то чугун

1) серый 2) вермикулярный 3) высокопрочный

34. Марка стали, используемая для литья:

1) сталь 20 2) сталь 60 3) У9

35. Сталь, имеющая самый низкий порог хладноломкости

1) У10 2) сталь 60 3) сталь 10

36. Марка литейной стали

1) Л70 2) 25Л 3) Сталь 60

37. Марка стали для изготовления сварной конструкции

1) Ст 2 2) Ст 1кп 3) У7

38. Цифра в марке стали Ст 3

1) содержание углерода 2) номер сплава 3) предел прочности

39. Цифра в марке стали 30

1) содержание углерода 2) номер сплава 3) предел прочности

40. Цифра в марке сплава СЧ30

1) содержание углерода 2) номер сплава 3) предел прочности

10.5. Конструкционные и инструментальные стали

1. Марка инструментальной высококачественной стали

1) сталь 10 2) У10А 3) сталь 45

2. Быстрорежущие стали легируют основным химическим элементом

1) Cr 2) W 3) Mo

3. Цифра “6” в марке стали Р6М5 означает

1) содержание “Co” 2) содержание “W” 3) скорость резания

4. Порог теплостойкости быстрорежущей стали

1) 240 °С 2) 640 °С 3) 880 °С

5. Марка инструментальной стали

1) 10ХСНД 2) ХВГ 3) 12Х17

6. Марка стали для изготовления фрезы для резания труднообрабатываемых сплавов

1) У13 2) Р9М4К8 3) ХВГ

7. Инструментальная сталь для изготовления крупного инструмента

1) У13 2) 13Х 3) ХВСГ

8. Марка инструментального материала с низкой теплостойкостью

1) Т15К6 2) Р18 3) ХВГ

9. Самый теплостойкий материал

1) Т15К6 2) 11ХФ 3) Р18

10. Марка стали для изготовления метчика, предназначенного для нарезания резьбы вручную

1) Р6М5 2) 37Х12Н8Г8МФБ 3) У12А

11. Твердый сплав, используемый для обработки чугуна

1) ВК8 2) Т15К6 3) ТТ10К8

12. Твердый сплав, используемый для обработки стали

1) ВК8 2) Т15К6 3) ХВГ

13. Твердый сплав, используемый для обработки труднообрабатываемых материалов

1) ВК8 2) Т15К6 3) ТТ10К8

14. Инструментальный материал, непригодный для обработки стали

1) алмаз 2) нитрид бора 3) твердые сплавы

15. Отличие инструментальных материалов У10, Х, ХВСГ

1) теплостойкость 2) прокаливаемость 3) содержание углерода

16. Укажите марку качественной конструкционной стали

1) сталь 30 2) Ст 3 3) У7А

17. Количество перлита в равновесной структуре стали 40

1) 40 % 2) 25 % 3) 50 %

18. Марка конструкционной стали обыкновенного качества

1) сталь 10 2) Ст 1 3) У10

19. Качество стали зависит от содержания

1) углерода 2) серы 3) фосфора

20. Сталь, имеющая минимальную пластичность:

1) У10 2) сталь 10 3) Ст 3

21. Марка рессорно-пружинной стали

1) У8А 2) сталь 70 3) сталь 08пс

22. Марка улучшаемой конструкционной стали

1) У8А 2) сталь 80 3) сталь 45

23. Марка цементуемой конструкционной стали

1) У8А 2) сталь 60 3) сталь 15

24. Сталь, имеющая максимальный предел прочности:

1) У8А 2) сталь 08кп 3) сталь 20

25. Сталь, рекомендуемая для изготовления оси:

1) Сталь 10 2) сталь 45 3) У8

26. Предел прочности цементуемой конструкционной стали

1) 100 МПа 2) 350 МПа 3) 500 МПа

27. Предел прочности улучшаемой конструкционной стали

1) 100 МПа 2) 350 МПа 3) 550

МПа

28. Предел прочности высокопрочной стали

1) 750 МПа 2) 1100 МПа 3) 1600 МПа

29. Марка конструкционной стали обыкновенного качества

1) сталь 30 2) Ст 3 3) 30ХГТ

30. Марка качественной конструкционной стали

1) У7 2) Ст 6 3) сталь 70

31. Марка качественной конструкционной цементуемой стали

1) сталь 10 2) Ст 3 3) сталь 45

32. Марка качественной конструкционной улучшаемой стали

1) сталь 10 2) Ст 3 3) сталь 45

33. Сталь, структура которой в равновесном состоянии состоит из 50 % феррита и 50 % перлита

1) сталь 40 2) сталь 50 3) сталь 30

34. Технологическое свойство, присущее автоматным сталям:

1) хорошая штампуемость

2) хорошая обрабатываемость резанием

3) хорошая свариваемость

35. Литейные свойства стали при возрастании в ней содержания углерода

1) ухудшаются 2) улучшаются 3) не изменяются

36. Лучшую штампуемость имеет сталь марки

1) сталь 10 2) сталь 40 3) У7

37. Низколегированные стали имеют суммарное содержание легирующих элементов

1) менее 2,5 % 2) менее 10 % 3) менее 15 %

38. Среднелегированные стали имеют суммарное содержание легирующих элементов

1) менее 2,5 % 2) менее 10 % 3) менее 15 %

39. Высоколегированные стали, имеют суммарное содержание легирующих элементов

1) менее 2,5 % 2) менее 10 % 3) более 10 %

40. Химический элемент, применяемый для легирования коррозионно-стойких сталей

1) Cr 2) W 3) Cu

41. Буква “А” в марке стали 38ХН3А означает

1) содержание алюминия 2) содержание азота 3) высококачественная

42. Сталь, имеющая более высокую коррозионную стойкость:

1) 15Х 2) Х28 3) 50ХФА

43. Марка цементуемой конструкционной стали

1) 15Х 2) ХВГ 3) 45Х

44. Марка жаростойкой стали

1) 20Х 2) 20Х23Н13 3) 50С2

45. Марка рессорно-пружинной легированной стали

1) 20Х 2) 45ХН 3) 60С2

46. Марка улучшаемой легированной стали

1) 60С2ХФА 2) 20ХГТ 3) 38ХН3МФА

47. Сталь, предназначенная для цементации

1) 60С2ХФА 2) 35ХГТ 3) 15ХН

48. Материал, имеющий максимальную прокаливаемость:

1) 60С2А 2) 25ХГТ 3) 38ХН3МФА

49. Марка коррозионно-стойкой стали

1) 12Х18Н9Т 2) 20Х 3) 50С2

50. Предел ограничения концентрации фосфора и серы в качественных легированных сталях

1) менее 0,035 % 2) менее 0,025 % 3) менее 0,05 %

51. Предел ограничения концентрации фосфора и серы в высококачественных легированных сталях

1) менее 0,035 % 2) менее 0,025 % 3) менее 0,05 %

52. Марка автоматной стали

1) 70С3А 2)А30 3) 16Г2АФ

53. Марка особовысококачественной стали

1) 12Х18Н9Т 2) 30ХГСА-Ш 3) 50С2

54. Марка низколегированной стали

1) 12ХГ2МТР 2) 12Х18Н9Т 3) 60С2

55. Концентрация серы в автоматных сталях

1) до 0,035 % 2) до 0,025 % 3) до 0,3 %

56. Концентрация фосфора в автоматных сталях

1) до 0,05 % 2) до 0,025 % 3) до 0,3 %

57. Сталь для изготовления пружины большого сечения

1) 12 ХГ2МТР 2) 65 3) 65С2ВА

58. Сталь для холодной штамповки крышки картера ДВС

1) 38ХН3МФА 2) 08Ю 3) 65С2ВА

59. Сталь, устойчивая к газовой коррозии при температуре выше 550 °С

1) жаропрочная 2) жаростойкая 3) коррозионно-стойкая

60. Сталь, которая может успешно эксплуатироваться при температуре –196 °С

10.6. Цветные металлы и сплавы на их основе

1. Название сплавов меди с цинком

1) бронзы 2) латуни 3) мельхиоры

2. Медные сплавы, используемые для изготовления слесарного

инструмента, не дающего искры

1) морские латуни 2) бериллиевые бронзы 3) мельхиоры

3. Марка морской латуни

1) Л90 2) ЛО70-1 3) ЛЦ10

4. Марка литейной латуни

1) Л90 2) ЛО70-1 3) ЛЦ10

5. Марка однофазной двухкомпонентной латуни

1) Л90 2) ЛО70-1 3) Л60

6. Укажите марку деформируемого алюминиевого сплава, легированного цинком, магнием и медью

1) Д16 2) В95 3) АЛ2

7. Алюминиевые сплавы, которые обычно модифицируют

1) дюралюмины 2) силумины 3) магналии

8. Термическая обработка, которой подвергают сплав Д16:

1) старение

2) закалка с последующим старением

3) отжиг

9. Большинство магналиев упрочняют

1) термообработкой 2) модифицированием 3) деформацией

10. Силумины – это сплавы алюминия с

1) медью 2) магнием 3) кремнием

11. Алюминиевые сплавы, которые относятся к деформируемым термически не упрочняемым

1) дюралюмины 2) силумины 3) магналии

12. Алюминиевый деформируемый термически упрочняемый сплав

1) дюралюмин 2) силумин 3) магналий

13. Литейные алюминиевые сплавы

1) дюралюмины 2) силумины 3)

магналии

14. Марка литейной латуни

1) Л90 2) ЛЦ10 3) ЛС59-1

15. Марка деформируемой латуни

1) Л90 2) ЛЦ10 3) БрО10

16. Укажите двухфазную двухкомпонентную деформируемую латунь

1) Л96 2) ЛЦ32 3) Л60

17. Сплавы металла, имеющие максимальную удельную прочность при температурах выше 600 °С:

1) алюминия 2) железа 3) титана

18. Антифрикционный материал, применяемый для подшипников скольжения, работающих при больших давлениях и средних скоростях вращения:

1) Б88 2) БрО10Ф1 3) ЛЦ16К4

19. Антифрикционный материал имеет низкую прирабатываемость

1) Б88 2) БрС30 3) АЧС1

20. Антифрикционный материал, лучше всего отводящий тепло от узла трения:

1) Б88 2) БрС30 3) АЧС3

21. Антифрикционный материал с мягкой основой и твердыми включениями

1) Б88 2) БрС30 3) АЧС1

22. Антифрикционный материал с твердой основой и мягкими включениями

1) Б88 2) БрС30 3) БН

23. Материалы, предназначенные для изготовления подшипников (опор) скольжения

1) демпферные 2) антифрикционные 3) текстурированные

24. Толщина рабочего покрытия из баббита, для рабочих поверхностей опор скольжения

1) менее 1 мм 2) более 1 мм 3) более 10 мм

25. Количество цинка, содержащееся в однофазных латунях:

1) более 39 % 2) менее 39 % 3) более 46 %

26. Металл, способный поглощать газы при высоких температурах:

1) алюминий 2) медь 3) титан

27. Металл, горящий в присутствии воды:

1) алюминий 2) магний 3) медь

28. Сплавы металла, имеющие очень высокую химическую стойкость:

1) алюминия 2) железа 3) титана

29. Сплавы металла, имеющие максимальную удельную прочность до температуры 300 °С:

1) алюминия 2) железа 3) титана

30. Сплавы металла, имеющие максимальную удельную прочность в интервале температур 300 - 600 °С:

1) алюминия 2) железа 3) титана

10.7. Неметаллические материалы

1. Простыми пластмассами называют

1) полимеры без добавок

2) полимеры и наполнители

3) полимеры и стабилизаторы

2. В пластмассы для повышения механических свойств добавляют

1) стабилизаторы 2) наполнители 3) пластификаторы

3. В пластмассы для замедления старения добавляют

1) стабилизаторы 2) красители 3) пластификаторы

4. В пластмассы для уменьшения хрупкости добавляют

1) стабилизаторы 2) наполнители 3) пластификаторы

5. В пластмассы для сохранения структуры молекул добавляют

1) стабилизаторы 2) красители 3)

отвердители

6. Отвердители добавляют в пластмассы

1) термопластичные 2) термореактивные 3) во все виды пластмасс 7. Назовите самый огнеопасный полимер и особенно пористые пластмассы на его основе

1) полиэтилен 2) полистирол 3) полиуретан

8. В полиэтилен для замедления старения добавляют

1) древесную муку 2) тальк 3) сажу

9. Вредное вещество, выделяемое при горении термопластов:

1) H_2SO_4 2) HCl 3) HNO_3

10. Термопласт, который взаимодействует с водой и поглощает влагу:

1) полиэтилен 2) полипропилен 3) полиамид

11. Пластмассы, имеющие более стабильные механические свойства:

1) термопласты 2) термореактопласты 3) разницы нет

12. Назовите материал с максимальной удельной прочностью

1) гетинакс

2) капрон

3) стеклотекстолтт

13. Основой полиамидного клея являются

1) термопласты

2) термореактопласты

3) термореактопласты с порошковыми наполнителями

14. Назовите клеи, обеспечивающие максимальную прочность при сдвиге

1) фенолформальдегидные

2) кремнийорганические

3) полиамидные

15. Клеи, имеющие максимальную теплостойкость:

1) фенолформальдегидные 2) кремнийорганические 3) полиамидные

16. Материал, идущий на изготовление подшипников, не требующих смазки:

1) фторопласт-4 2) фторопласт-3 3) фторопласт-2

17. Материал, широко применяемый для покрытия металлов

1) фторопласт-4 2) полиэтилен 3) фторопласт-3

18. Назовите марку синтетического изопренового каучука

1) НК 2) СКС-30 3) СКИ-3В

19. Резины, применяемые в качестве электроизоляции

1) неполярные каучуки 2) полярные каучуки 3) наирит

20. Маслобензостойкая резина

1) неполярные каучуки 2) полярные каучуки 3) наирит

21. Силикатный клей относится к группе

1) неорганические клеи 2) смоляные клеи 3) резиновые клеи

22. Резиновый клей, стойкий в морской воде:

1) БФ-4 2) 88НП 3) ВК-15

24. Корундовой называют керамику на основе

1) Al_2O_3 2) SiC 3) ZrO_2

25. Карборундовой называют керамику на основе

1) Al_2O_3 2) SiC 3) ZrO_2

26. Термостойкость строительного стекла

1) 100 - 170 °С 2) 800 - 1000 °С 3) 1200 - 1300 °С 27. Термостойкость кварцевого стекла

1) 100 - 170 °С 2) 800 - 1000 °С 3) 1200 - 1300 °С 28. Изменения, происходящие при “старении” клеящих материалов:

1) упрочнение 2) охрупчивание 3) разупрочнение

29. Прочность клея больше в 10-100 раз в случае

1) при работе на сжатие

2) при работе на растяжение

3) схема нагружения значения не имеет

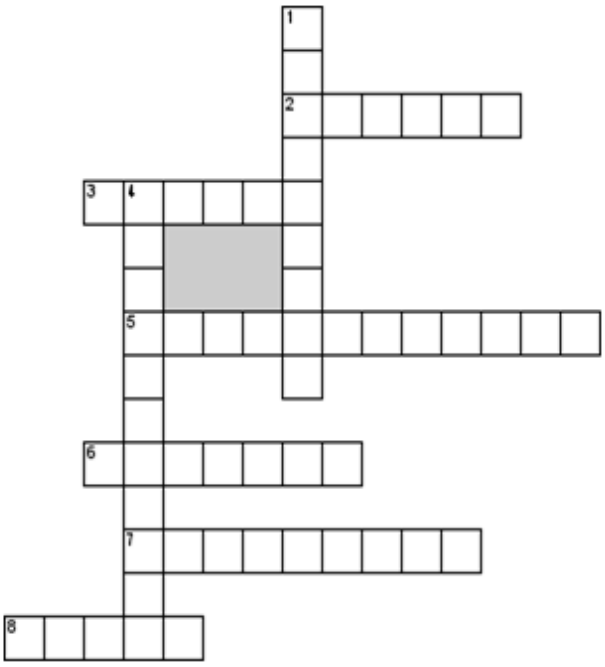
30. Долговечность резин при динамическом нагружении определяется

1) стойкостью концентрации напряжений
2) усталостной прочностью
3) восстанавливаемостью резины

11. ЗАНИМАТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

11.1. Кроссворды

Кроссворд № 1



По горизонтали:

2. Уменьшение объема (линейных размеров) в процессе охлаждения отливки (слитка) в литейной форме.

3. Термическая обработка стали, заключающаяся в нагреве закаленной на мартенсит стали до температуры ниже критической, выдержки при этой температуре и охлаждении на воздухе.

5. Способность материала приобретать необратимые изменения формы под действием нагрузки.

6. Вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали выше критической температуры.

7. Способность материала восстанавливать форму и размеры тела после снятия нагрузки, вызвавшей деформацию.

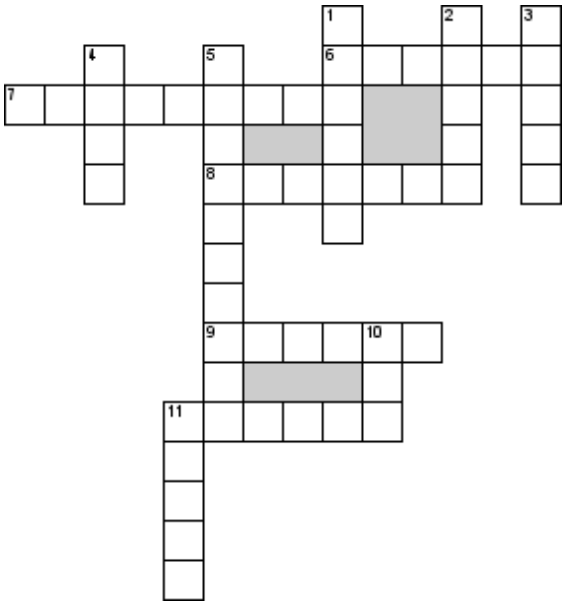
8. Вещество, содержащее в своем составе два или более компонентов, по крайней мере, один из которых – металл.

По вертикали:

1. Способность материала разрушаться под воздействием внешних сил без пластической деформации.

4. Главный термодинамический параметр.

Кроссворд № 2



***По горизонтали*:**

6. Эластичный материал, получаемый вулканизацией каучука.

7. Клетчатка, главный строительный материал растительного мира, образующий клеточные стенки деревьев и других высших растений.

8. Пластичная смазка, используемая преимущественно в механизмах, работающих в условиях сырости (горная техника и т. п.).

9. Прозрачный материал на окнах.

11. Натуральный, полимер растительного происхождения, вулканизацией которого получают резину.

***По вертикали*:**

1. Компонент состава для изготовления стержней для чёрных карандашей.

2. Пластичная водостойкая смазка, получаемая загущением нефтяных масел литиевым мылом 12-оксистеариновой кислоты.

3. Жидкость, применяемая для смазывания поршневых и роторных двигателей внутреннего сгорания.

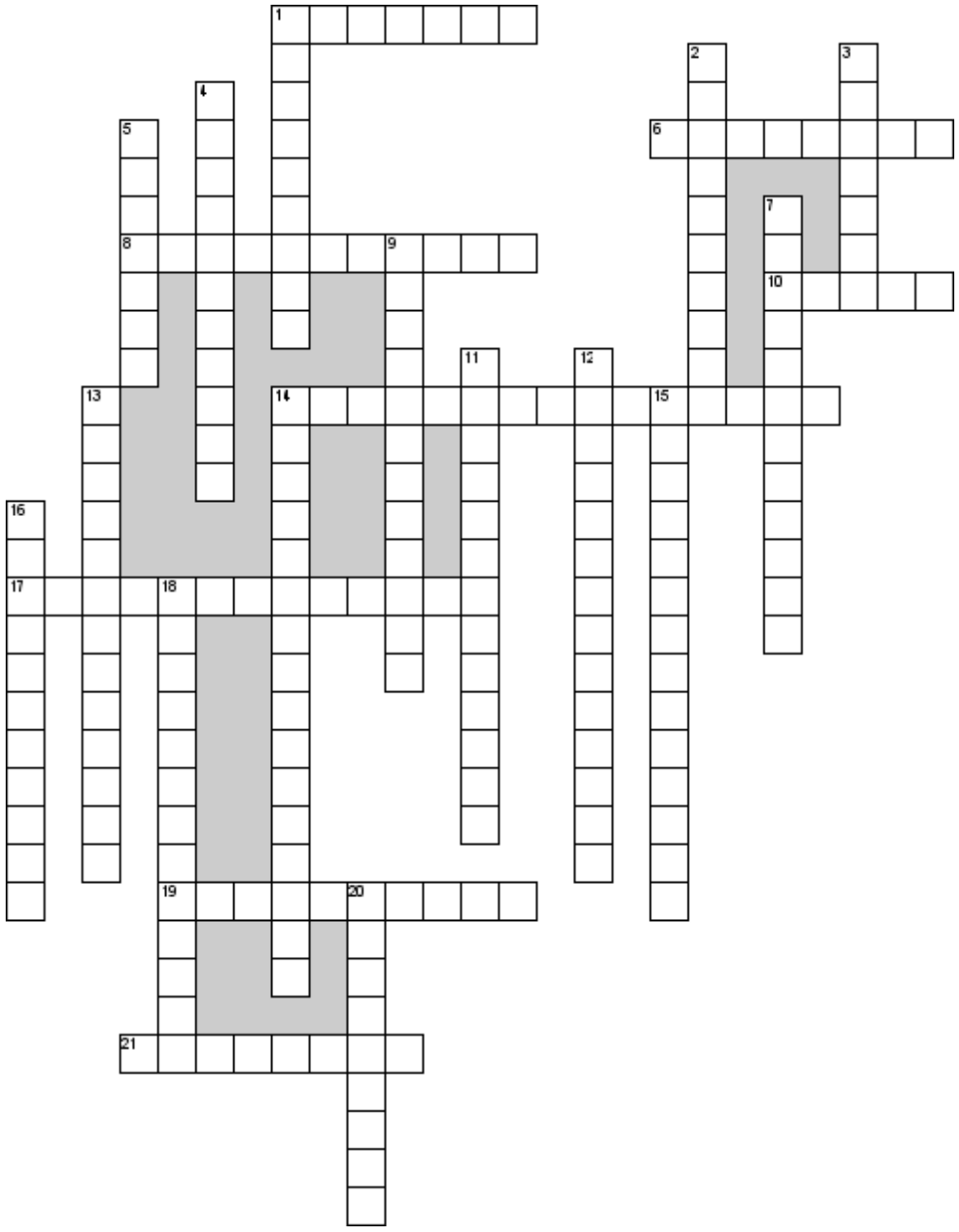
4. Вещество (чаще смесь) органического и неорганического происхождения, предназначенное для удаления окислов с поверхности под пайку.

5. Органические материалы, основой которых являются синтетические или природные высокомолекулярные соединения (полимеры).

10. Раствор, образующий при отверждении прозрачную, блестящую или матовую плёнку.

11. Основной минерал, используемый в приборе, в котором пьезоэлектрический эффект и явление механического резонанса используются для построения высокодобротного резонансного элемента электронной схемы.

Кроссворд № 3



***По горизонтали*:**

1. От какого слова появился термин «полимеризация»?

6. Пластмасса, предназначенная для изготовления базисов съёмных протезов

8. Воск растительного происхождения.

10. Обладает высокой теплостойкостью, твёрдостью и водопоглотительной способностью.

14. Процесс соединения нескольких мономерных веществ в большие

молекулы высокополимерного вещества, протекающий с повышением температуры.

17. Густая маслообразная синтетическая жидкость, вводимая в пластмассы для понижения их хрупкости и повышения холодостойкости.

19. Вещество, понижающее статическую электризацию химических волокон, пластмасс, резин.

21. Состояние пластмассовой смеси при замешивании, когда она становится липкой и при перемешивании тянется волокнами.

***По вертикали*:**

1. Материалы, получаемые из прессовочных порошков, которые под действием температуры и давления размягчаются и приобретают свойства пластического течения.

2. Высокомолекулярные соединения, обладающие при определённых условиях высокой пластичностью.

3. Низкомолекулярное вещество, образующее полимер в реакции полимеризации.

4. Вещество, вводимое в пластмассы для ускорения их отвердения.

5. Представитель базисных пластмасс.

7. Какая пластмасса используется для изготовления мягких подкладок, челюстно-лицевых протезов и т. д.

9. Вещество, вводимое в пластмассы для повышения их стойкости к свету и нагреву.

11. Химическая реакция при затвердевании пластмассы.

12. Четвёртая стадия созревания пластмассового теста.

13. Переход метала из жидкого состояния в твёрдое.

14. Жёсткая пластмасса на основе чего?

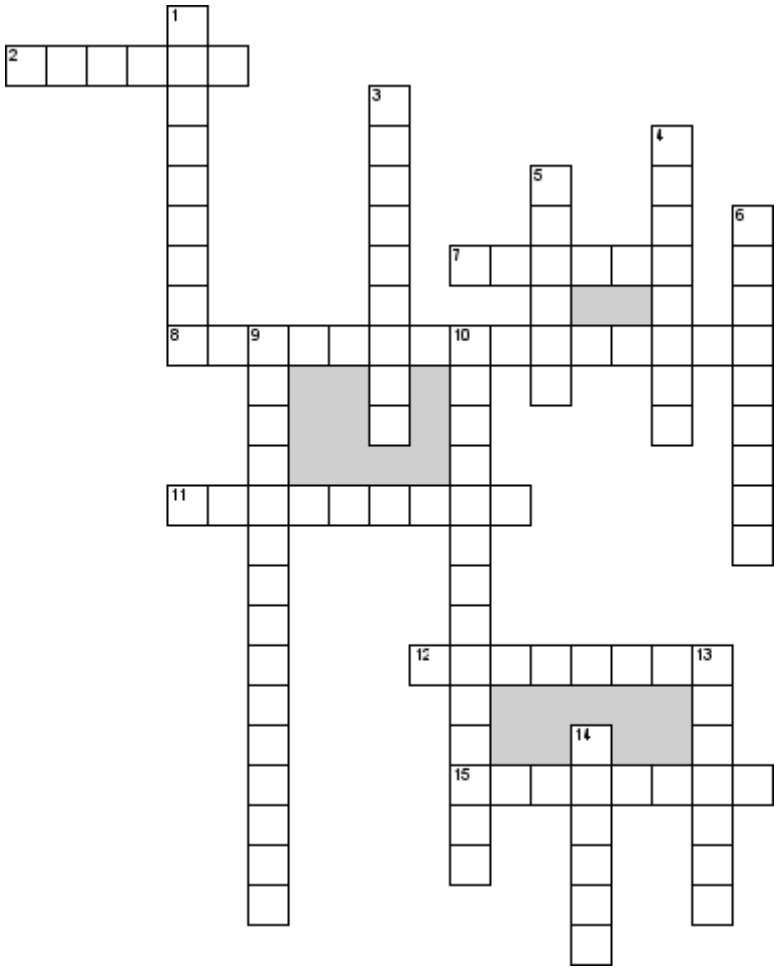
15. Пластмасса холодной полимеризации.

16. Порошкообразные или волокнистые вещества, повышающие механическую прочность и уменьшающие объёмную усадку изготовляемых изделий.

18. Третья стадия созревания пластмассового теста.

20. Материалы на основе пластмасс.

Кроссворд № 4



По горизонтали **:**

2. Углерод в чистом виде, весьма пластичный и хрупкий НВ – 3.

7. Тонкая механическая смесь зёрен феррита и цементита, прочный и твердый НВ – 200.

8. Группа материалов, обладающих низким коэффициентом трения, или материалы способные уменьшить коэффициент трения других материалов.

11. Масса вещества в единицу объема.

12. На фазовых диаграммах линия полного плавления твёрдых фаз.

15. Химическое соединение Fe_3C (железо с углеродом - углерода 6,67 %), имеет металлический блеск, электро- и теплопроводен, слабомагнитный, очень хрупкий и твердый НВ – 800.

По вертикали**:**

1. Графическое представление данных, позволяющее быстро оценить соотношение нескольких величин.

3. Структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, главным образом чугунов, представляющая собой эвтектическую смесь аустенита и цементита в интервале температур 727-1147 °С, или феррита и цементита ниже 727 °С.

4. Высокотемпературная гранецентрированная модификация железа и его сплавов.

5. Твердый раствор внедрения углерода в α-железо, магнитный, пластичный, мягкий НВ 60 – 100.

6. Нонвариантная (при постоянном давлении) точка в системе из *n* компонентов, в которой находятся в равновесии *n* твердых фаз и жидкая фаза.

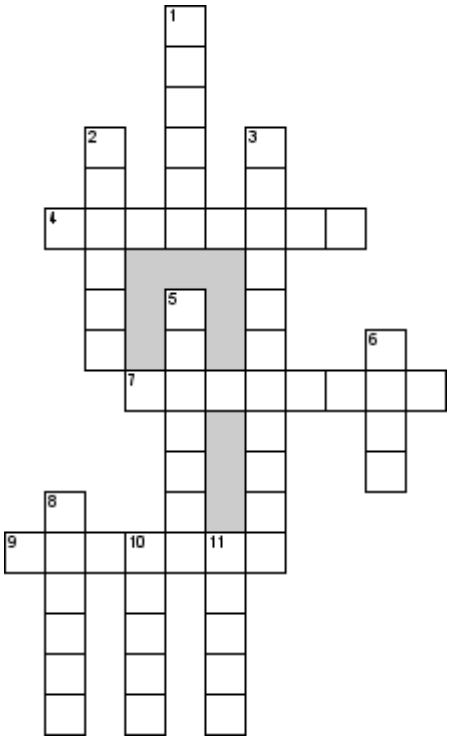
9. Часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

10. Процесс фазового перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое кристаллическое с образованием кристаллов.

13. Линия на фазовых диаграммах, на которой исчезают последние капли расплава, или температура, при которой плавится самый легкоплавкий компонент.

14. Элемент побочной подгруппы восьмой группы четвёртого периода Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева с атомным номером 26.

Кроссворд № 5



По горизонтали:

4. Химический элемент с атомным номером 74 в Периодической системе, обозначается символом W.

7. Элемент главной подгруппы третьей группы третьего периода Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 13. Обозначается символом Al.

9. В технике металл и сплав, не являющийся чёрным.

***По вертикали*:**

1. Двойной или многокомпонентный сплав на основе меди, где основным легирующим элементом является цинк, иногда с добавлением олова, никеля, свинца, марганца, железа и других элементов.

2. Сплав меди, обычно с оловом как основным легирующим элементом, но применяются и сплавы с алюминием, кремнием, бериллием, свинцом и другими элементами

3. Сплав алюминия с медью до 4 %, марганцем и магнием.

5. Сплав алюминия с кремнием.

6. Элемент побочной подгруппы второй группы, четвёртого периода

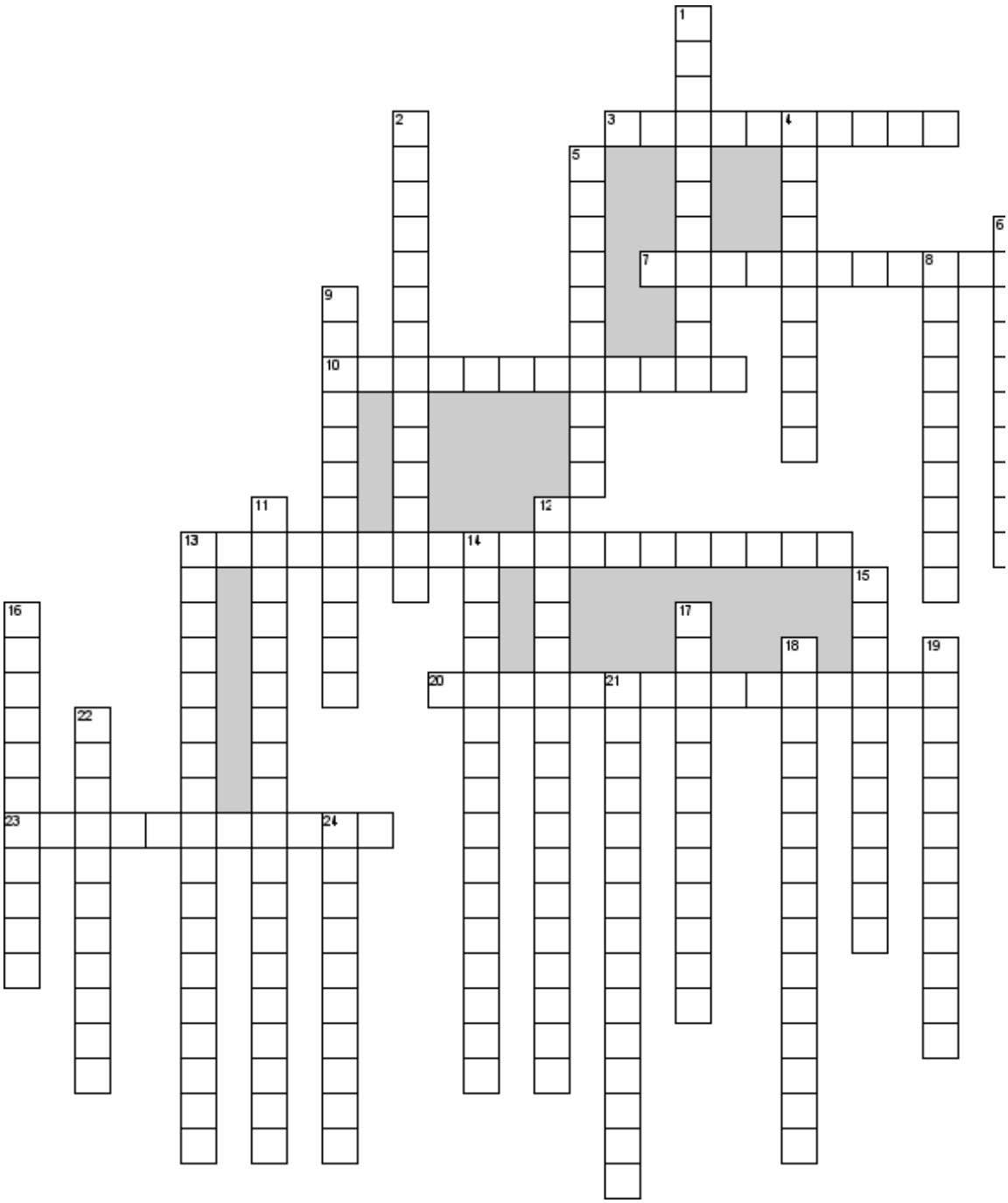
Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 30. Обозначается символом Zn.

8. Элемент 14-й группы шестого периода Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 82. Обозначается символом Pb.

10. Элемент побочной подгруппы четвёртой группы, четвёртого периода Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 22. Обозначается символом Ti.

11. Элемент 14-й группы Периодической таблицы химических элементов пятого периода, с атомным номером 50. Обозначается символом Sn.

Кроссворд № 6



***По горизонтали*:**

3. Вид линейного дефекта.
7. Одна из групп цветных металлов.
10. Кристалл правильной геометрической формы.
13. Металлы, состоящие из большого числа кристаллитов.
20. Число, которым характеризуется плотность кристаллической

решётки.

23. Неодинаковость свойств кристалла в разных направлениях.

***По вертикали*:**

1. Кристаллы металлов неправильной формы.

2. Переход металла из жидкого состояния в твёрдое.

4. Химические элементы, образующие сплав.

5. Группировка атомов, при определённых условиях становящаяся центром кристаллизации.

6. Изменение размера и формы под действием приложенной внешней нагрузки.

8. Величина приложенной нагрузки, отнесённая к единице площади поперечного сечения испытуемого образца.

9. Физическое свойство металла, его способность поглощать тепло.

11. Физическое свойство металла.

12. Коррозия в водных растворах.

13. Превращение, в результате которого образуются кристаллические зёрна других форм и размеров.

14. Физическое свойство металла, его способность передавать тепло.

15. Кристалл правильной геометрической формы.

16. Вид металла в зависимости от температуры плавления.

17. Способность металла принимать новую форму и размеры.

18. Использование специально вводимых в жидкий металл примесей, которые вызывают измельчение зерна при кристаллизации.

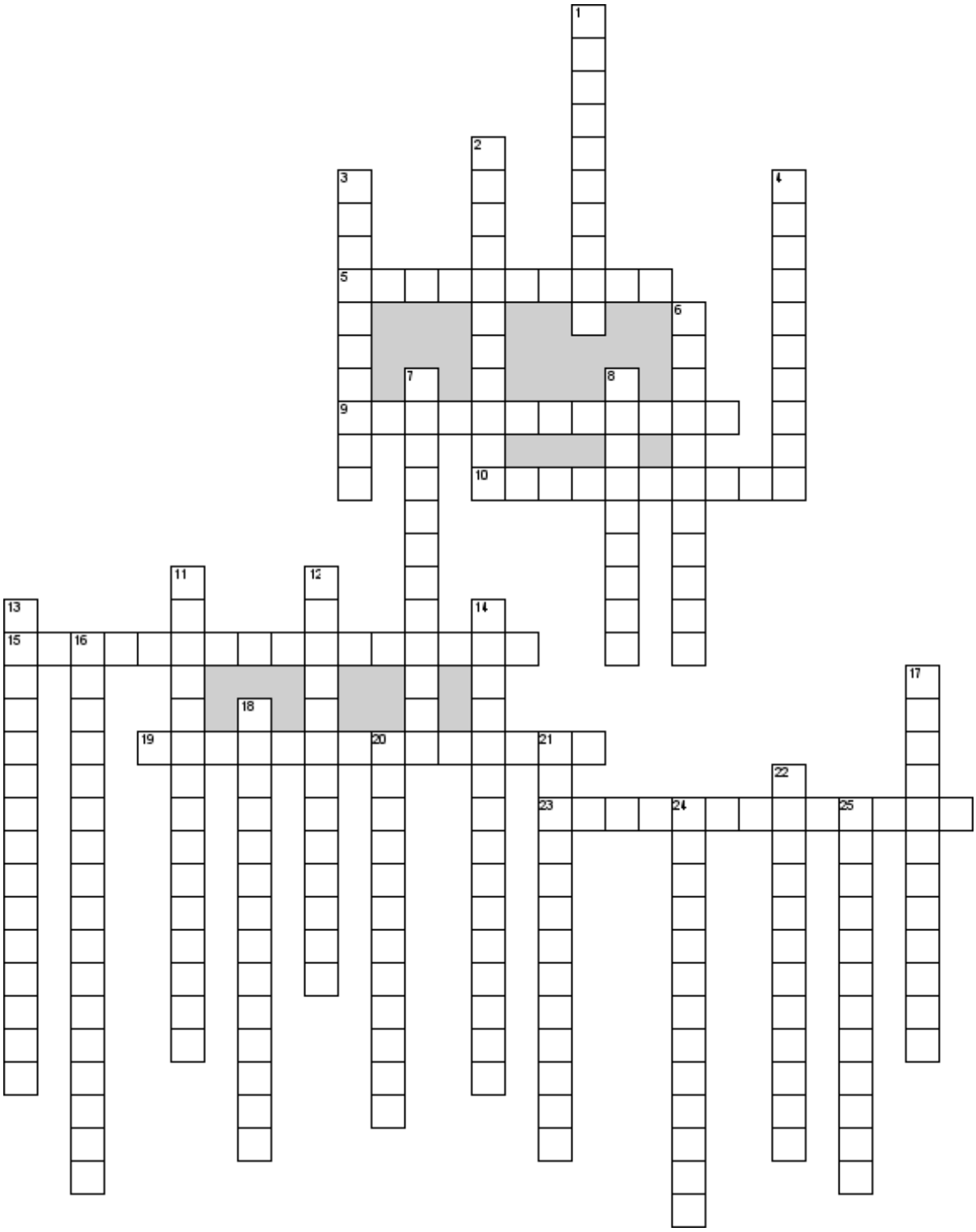
19. Вид металла в зависимости от температуры плавления.

21. Износостойкость.

22. Металлы, существующие в нескольких модификациях.

24. Добавки в составе водных растворов, замедляющие процесс коррозии.

Кроссворд № 7



***По горизонтали*:**

5. Термомеханическая обработка стали в метастабильном аустенитном состоянии ниже температуры рекристаллизации с последующим охлаждением для получения мартенсита и/или бейнита.

9. Нагрев металла до температуры на 30-50 ºС выше линии *GSE* и

последующее охлаждение на воздухе.

10. Способность некоторых металлов изменять тип кристаллической решетки при изменении внешних условий (температуры и давления).

15. Процесс образования и роста одних кристаллических зёрен поликристалла за счёт других той же фазы в деформированном металле.

19. Характеризует твердость закаленной стали и измеряется в единицах твердости.

23. Вторая стадия процесса рекристаллизации деформированного металла, протекающая при нагреве.

***По вертикали*:**

1. Процесс слипания, укрупнения и выпадения в осадок частиц вещества из коллоидного раствора.

2. Теплообмен между поверхностью твердого тела и окружающей его средой.

3. Естественный или принудительный отвод теплоты от какого-либо тела или его части.

4. Процесс поверхностного насыщения углеродом, произведенный с целью поверхностного упрочнения деталей.

5. Процесс насыщения поверхностного слоя детали бором.

7. Процесс насыщения поверхностного слоя стали хромом для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости.

8. Структура кристаллических твёрдых тел, возникающая в результате бездиффузионного полиморфного превращения при быстром охлаждении.

11. Улучшение термообработкой структуры цветных сплавов и сталей, приближающей ее к холоднообработанному состоянию после закалки.

12. Процесс насыщения поверхностного слоя детали кремнием для повышения коррозионной стойкости и кислотостойкости.

13. Расстояние от поверхности до того места, где в структуре 50 % мартенсита и 50 % троостита (полумартенситная зона).

14. Процесс создания упрочненного слоя, при котором подходящая сталь нагревается в газообразной атмосфере химического состава, способного вызвать одновременную диффузию углерода и азота в поверхность металла и

создание градиента концентрации.

16. Предварительная термообработка материала для получения заданных свойств при последующей термообработке.

17. Вид термической обработки стали, заключающийся в её нагреве выше температуры верхней критической точки и охлаждении со скоростью 100-600 °С/мин.

18. Термообработка, применяемая к среднеуглеродистым и высокоуглеродистым сталям перед волочением провода или между протяжками.

20. Процесс насыщения поверхностного слоя различных металлов и сплавов, стальных изделий или деталей азотом при нагреве в соответствующей среде

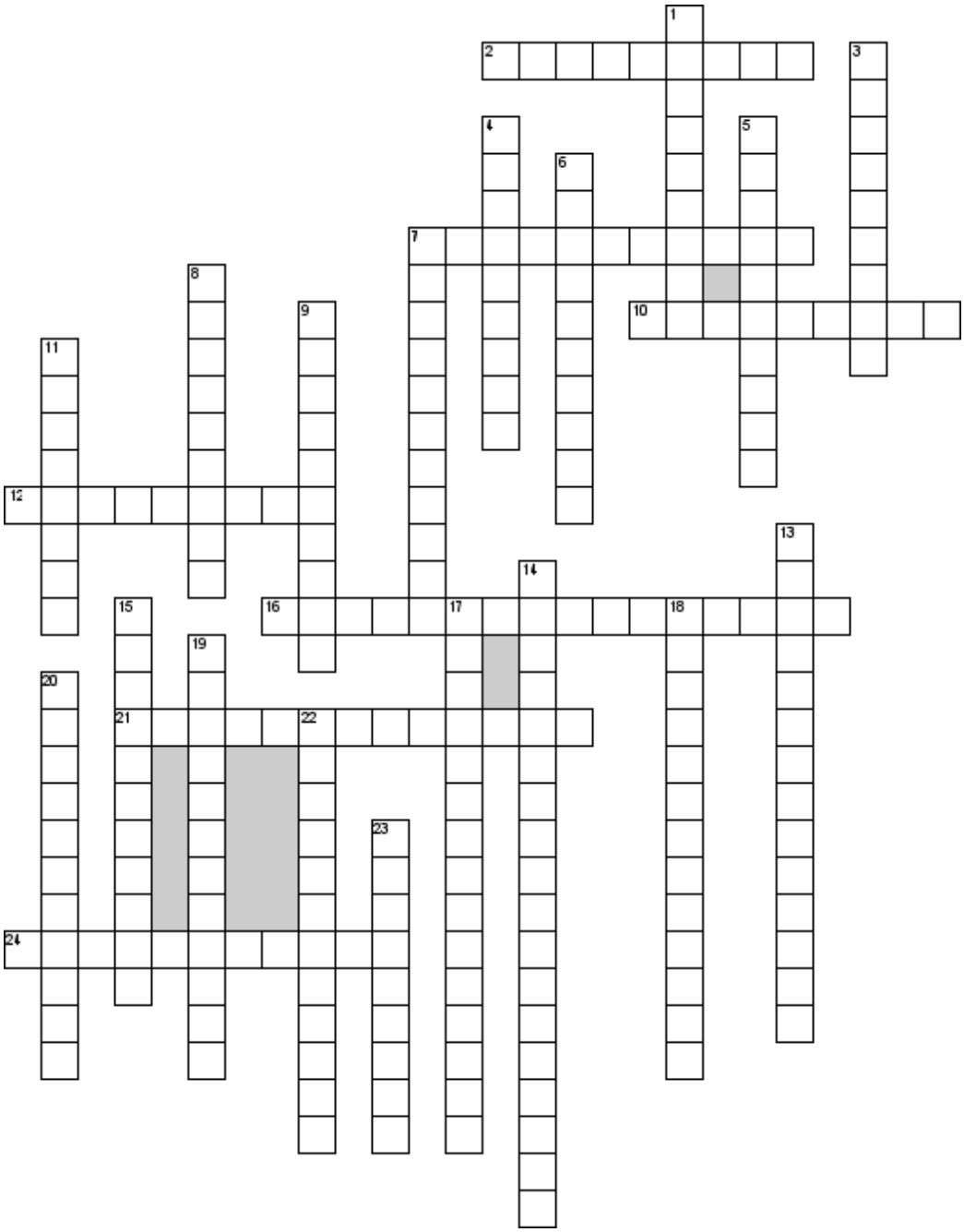
21. Жидкое или газообразное вещество, применяемое для передачи тепловой энергии.

22. Насыщение поверхностного слоя изделий одновременно углеродом и азотом в жидкой среде.

24. Процесс получения гомогенных растворов, эмульсий, сплавов и т. п.

25. Процесс насыщения поверхностного слоя стали алюминием для повышения жаростойкости (окалиностойкости) и сопротивления атмосферной коррозии.

Кроссворд № 8



***По горизонтали*:**

2. Способность металла под воздействием внешних сил не разрушаться.

7. Воск из пальмовых листьев.

10. Нонвариантная точка в системе из *n* компонентов, в которой находятся в равновесии *n* твердых фаз и жидкая фаза.

12. Процесс протягивания прутка через отверстие меньшего размера.

16. Наука, изучающая связь между составом, строением и свойствами

металлов.

21. Способность металлов образовывать сварные неразъемные соединения.

24. Способность металлов образовывать разные кристаллические решетки.

***По вертикали*:**

1. Первый химик, который дал определение физической химии.

3. Эвтектика с выделением кристаллов аустенита и цементита.

4. Сопротивление металлов проникать в него другого более твердого тела.

5. Свариваемость - это свойство металла образовывать моментальное соединение.

6. Органический материал на основе полимеров.

7. Химическое вещество, ускоряющее реакцию.

8. Все слепочные материалы состоят из …..

9. NaCl-соль.

11. Повреждение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

13. Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое.

14. Способность тела проводить электрический ток.

15. Процесс выдавливания металла из контейнера через одно или несколько отверстий в матрице с площадью, меньшей, чем поперечное сечение исходной заготовки.

17. Сопротивление износу.

18. Поворот части кристалла относительно плоскости в положение зеркального отображения.

19. Способность материала принимать новую форму и размеры.

20. Показатель прочности материала и его изнашиваемости.

22. Способность к продолжительному выполнению какой-либо работы без заметного снижения работоспособности.

23. Моделировочно-литьевой воск.

11.2. Ответы на кроссворды

Кроссворд № 1

***По горизонтали*:**
2. усадка
3. отпуск
5. пластичность
6. закалка
7. упругость
8.сплав

***По вертикали*:**
1. хрупкость
4. температура

Кроссворд № 2

***По горизонтали*:**
6. резина
7. целлюлоза
8. солидол
9. стекло
11. каучук

***По вертикали*:**
1. графит
2. литол
3. масло
4. флюс
5. пластмасса
10. лак
11. кварц

Кроссворд № 3

***По горизонтали*:**
1. полимер
6. базисная
8. карнаубский
10. акрил
14. поликонденсация
17. пластификатор
19. антистатик
21. вязкость

По вертикали:
1. пластмасса
2. пластмасса
3. мономер
4. отвердитель
5. этакрил
7. эластическая
9. стабилизатор
11. полимеризация

12. резиноподобная
13. кристаллизация
14. поливинилхлорида
15. поливинилхлорида
16. наполнитель
18. тестообразная
20. текстолит

Кроссворд № 4

***По горизонтали*:**
2. графит
7. перлит
8. антифрикционные
11. плотность
12. ликвидус
15. цементит

***По вертикали*:**
1. диаграмма
3. ледебурит
4. аустенит
5. феррит
6. эвтектика
9. технологический
10. кристаллизация
13. солидус
14. железо

Кроссворд № 5

***По горизонтали*:**
4. вольфрам
7. алюминий
9. цветной

***По вертикали*:**
1. латунь
2. бронза
3. дюралюминий
5. силумин
6. цинк
8. свинец
10. титан
11. олово

Кроссворд № 6

***По горизонтали*:**

3. дислокация

7. одна из групп цветных металлов

10. монокристалл

13. поликристаллические

20. координационное

23. анизотропия

***По вертикали*:**

1. кристаллиты

2. кристаллизация

4. компоненты

5. зародышевые

6. деформация

8. напряжение

9. теплоёмкость

11. физическое свойство металла

12. коррозия в водных растворах

13. перекристаллизация

14. теплопроводность

15. монокристалл

16. тугоплавкие

17. пластичность

18. модифицирование

19. легкоплавкие

21. износостойкость

22. полиморфные

24. ингибиторы

Кроссворд № 7

***По горизонтали*:**

5. аусформинг

9. нормализация

10. аллотропия

15. рекристаллизация

19. закаливаемость

23. полигонизация

***По вертикали*:**

1. коагуляция

2. теплоотдача

3. охлаждение

4. цементация

6. борирование

7. хромирование

8. мартенсит

11. экстраупругость
12. силицирование
13. прокаливаемость
14. нитроцементация
16. кондиционирование
17. сорбитизация
18. патентирование
20. азотирование
21. теплоноситель
22. цианирование
24. гомогенизация
25. алитирование

Кроссворд № 8

***По горизонтали*:**

2. прочность
7. карнаубский
10. эвтектика
12. волочение
16. материаловедение
21. свариваемость
24. полиморфизм

***По вертикали*:**

1. Ломоносов
3. ледебурит
4. твердость
5. физическая
6. пластмасса
7. катализатор
8. краситель
9. поваренная
11. коррозия
13. кристаллизация
14. электропроводность
15. прессование
17. износостойкость
18. двойникование
19. пластичность
20. стираемость
22. выносливость
23. формадент

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Арзамасов Б. Н., Сидорин И. И. и др. Материаловедение: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 648 с.
2. Батышев А. И., Безпалько В. И., Смолькин А. А. Материаловедение и технология материалов М.: Изд-во Инфра-М, 2012. 288 с.
3. Богодухов С. И., Козик Е. С.. Материаловедение: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 2015. 504 с.
4. Бондаренко, Г. Г. Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учебник для бакалавров / под ред. Г. Г. Бондаренко. 2-е изд. М.: Юрайт, 2014. 359 с.
5. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Г. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи). Издание четвертое, доп. и перераб. М.: Металлургия, 1976. 447 с.
6. Комаров О. С., Керженцева А. Ф., Макаева Г. Г. Материаловедение в машиностроении. М.: Высшая школа. 2009. 304 с.
7. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. М.: Машиностроение, 2009. 528 с.
8. Материаловедение и технология металлов: учеб. для вузов / Г. П. Фетисов [и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова. 6-е изд., доп. М.: Высш. школа, 2008. 877 с.
9. Травин О. В. Материаловедение: учебно-практическое пособие. М.: МГУТУ, 2004. 68 с.
10. Методы исследования материалов / Л. И. Тушинский, А.В. Плохов, А. О. Токарев и др. М.: Мир, 2004. 384 с.
11. Шубина Н.Б. Материаловедение: учебник. М.: КноРус, 2016. 282 с.
12. Хазин М. Л. Материаловедение: методические материалы. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2008. 208 с.

.

Приложение

Таблица П1

Стали, износостойкие в условиях кавитационной эрозии

и динамических нагрузок

Сталь	Химический состав, %						Назначение
		i	n	r	i	другие легирующие элементы	
ИЗНОСОСТОЙКИЕ В УСЛОВИЯХ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ							
Стойкие в воде при повышенной скорости потока							
Х18Н9Т	< 0,12	0,8	2	7-19	,0-9,5	Ti = (%C – 0,02)x 5 ≤ 0,7 %	Лопасти гидротурбин
Стойкие при значительной скорости потока							
30Х10Г10	,3-0,4	,5-0,6	,0-11	-11		–	Лопасти гидротурбин и гидронасосов
С повышенной кавитационной, коррозионной и абразивной стойкостью							
0Х14АП2	,1	0,3	0-15	3-17		0,1-0,3 N	Лопасти гидротурбин и гидрона-сосов, в том числе в морской воде
0Х14АГ12М	,1	0,3	0-15	3-17		0,1-0,3 N	
ИЗНОСОСТОЙКИЕ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК							
Г13	,1-1,3	0,5	2-14			–	Крестовины рельсов, щеки дробилок, черпаки

							землеройных машин, траки гусеничных машин

Таблица П2

Нагревательные устройства термических производств машиностроения (примеры)

Обозначение серии	Тип нагревательного устройства	Конструкция устройства	Характер среды	Максимальная рабочая температура, ^{0}С	Назначение при термообработке
Вид нагрева – электрический					
СНО	СНО-4·8·2,5/10	Камерная	Воздушная атмосфера	1000	Закалка, Отжиг
СН3	СН3-3·6·2/10	Камерная	Защитная	1000	Закалка,

			атмосфера		Отжиг
СКБ	ОКБ-210	Камерная	Защитная атмосфера	1300	Закалка
СШЗ	СШЗ-6·6/7	Шахтная	Защитная атмосфера	700	Отпуск Закаленных изделий
ГН	ПН-32	Шахтная	Воздушная атмосфера	650	Отпуск Закаленных изделий
І	Ш-30	Шахтная	Воздушная атмосфера	950	Закалка
І	Ц-105Б	Шахтная	Наугл ероживающая атмосфера	950	Цементация
США	США-6·6/6	Шахтная	Аммиак	600	Азотирование
СВС	СВС-2·4·4/10	Ванна электродная	Расплавленная соль	1000	Закалка
СВГ	СВГ-20/8,5	Печь-ванна	Расплавленная соль	850	Отпуск закаленных изделий
Вид нагрева – индукционный					

МГЗ	МГЗ-208АК	Машинный генератор ТВЧ	Воздух	Частота тока 8000 Гц	Поверхностная индукционная закалка

Таблица П3

Время нагрева и выдержки в электрических и газовых печах и соляных ваннах при закалке стали

Сечение поперечное (диаметр детали), мм	Продолжительность, мин				
	печи электрические	печи газовые		соляные ванны (жидкая среда)	
	нагрев и выдержка	нагрев	выдержка	нагрев	выдержка
25	1,0 на 1 мм сечения	20	5	7	3
50		40	10	17	8
100		80	20	33	17

150		120	30	50	25
200		160	40	65	35

Таблица П4

Группы улучшаемых конструкционных сталей по степени нагруженности
деталей машин и механическим свойствам после закалки и высокого отпуска

Улучшаемые стали (основные разновидности, примеры марок)	Механические свойства сердцевины деталей	
	предел прочности $\sigma_в$, МПа	предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа
1. **Малонагруженные детали машин** (прокаливаемость при закалке в сечениях до 10-12 мм; $\sigma_{0,2} < 600$ МПа).		
Углеродистые стали марок 35,40,45	600…700	400…600
2. **Средненагруженные детали машин** (прокаливаемость при закалке в сечениях до 20-50 мм; $\sigma_{0,2} < 850$ МПа).		
Хромистые: 40Х, 45Х Марганцовистые: 45Г2 Хромомарганцовистые (дополнительно вводят титан или бор): 30ХГТ; 40ХГР	900…1100	700…850

3. **Высоконагруженные детали машин** (прокаливаемость при закалке в сечениях до 75-100 мм; $\sigma_{0,2} < 1100$ МПа).		
Хромоникелевые: 40ХН Хромоникельмолибденовые: 40ХН2М Хромоникельмолибденованадиевые: 38ХН3МФА	1000…1200	800…1100

Таблица П5

Механические свойства некоторых типовых конструкционных среднеуглеродистых сталей после закалки и высокого отпуска при температуре 540…600 ^{0}С

Марка улучшаемой стали	$_{зак}$, ^{0}С	Среднее значение критического диаметра, мм**	Предназначены для деталей с поперечным сечением, мм	Механические свойства		
				$\sigma_{0,2}$, МПа	$_{в}$, МПа	НВ
40	830	12	15…20	450	600	167…207
45	810	12	15…20	490	630	205…210
40Х	860	15	25…35	800	1000	163…168
40ХН	820	25	50…75	800	1000	166…170
30ХГС	880	25	50…75	980	1080	207…217

40ХН2МА	50	100	75…100	950	050	280…310
38ХН3МФА	50	100	100…200	1070	150	230

* Относительные единицы: за 1,0 принята оптовая цена углеродистой качественной стали.

** Диаметр образца, закаливающегося насквозь с получением в центре микроструктуры из 90 % мартенсита и 10 % троостита.

Таблица П6

Основные способы поверхностного упрочнения деталей машин

Типовая глубина упрочняемого слоя, мм	Упрочняющая обработка	Твердость поверхностного слоя	
		HV	HRC
0,1…0,2	Борирование	1800…2000	-
0,3…0,5	Азотирование	850…1050	65…68
0,2…0,8	Нитроцементация, закалка и низкий отпуск	-	58…64
0,5…1,0	Лазерное термоупрочнение	950…1200	67…72
1,5…1,8	Цементация, закалка и низкий отпуск	-	58…62
1,5…2,0	Объемно-поверхностная	-	5

	закалка и низкий отпуск		8…61
1,6…5,0	Поверхностная индукционная закалка ТВЧ и низкий отпуск	-	45…55

Таблица П7

Группы цементуемых конструкционных сталей по степени нагруженности деталей машин и механическим свойствам сердцевины деталей после цементации, закалки и низкого отпуска

Типовые примеры марок цементуемых сталей	Механические свойства сердцевины деталей	
	предел прочности $\sigma_в$, мпа	предел текучести $\sigma_{0,2}$, мпа
1. Малонагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке малая; $\sigma_{0,2} < 300$ МПа)		
Углеродистые стали марок 10, 15, 20	380…460	245…300
2. Средненагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке в сечениях 10…20 мм; $\sigma_{0,2} < 700$ МПа)		
Легированные стали марок 15Х, 20Х, 15ХР, 20ХН и др.	730…830	590…700
3. Высоконагруженные детали машин (прокаливаемость при закалке в зависимости от марки стали от 20 до 100 мм; $\sigma_{0,2} < 1080$ МПа)		
Легированные стали марок 25ХГТ, 20ХГР, 25ХГМ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 15ХГН2ТА, 20ХН2М и др.	980…1270	830…1080

Таблица П8

Механические свойства в сердцевине некоторых типичных цементуемых
сталей после цементации и низкого отпуска при 180…200 ^{0}C

Марка стали	Рекомендуемое максимальное поперечное рабочее сечение, мм	Температура закалки, ^{0}C	Механические свойства			
			$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ,	,
20Х	35	820	650	800	1	0
18ХГТ	35	870	900	1000		0
20ХГР	40…60	880	800	1000		0
20ХГМ	60…80	860	1100	1200	0	5
30ХГТ	60…80	850	1300	1500		0
12Х2Н4А	100…120	800	110	1300		5
18Х2Н4МА	более 120	860	850	1150	2	0

Таблица П9

Характеристики основных видов поверхностного упрочнения

Операции упрочняющей термической обработки	Типовая глубина упрочняе-мого слоя	Твердость поверхностного слоя		Поперечное сечение детали, мм	Предел текучести сердцевины $\sigma_{0,2}$, МПа	Примеры типовых марок сталей
		V	HRC			
Химико-термическая обработка						
Цементация, закалка и низкий отпуск	1,5…1,8	-	58…62	До 50…60	390…830	20Х, 25ХГТ, 20ХН2М и др.
Нитроцемен-тация, закалка и низкий отпуск	0,2…0,8	-	58…64	До 30	930	35Х, 25ХГМ, и др.
Борирование	0,1…0,2	1800…2000	-	До 150	Зависит от марки стали и термообработки	Конструк-ционные стали (40Х, 30ХГСА и др.)
Азотирование	0,3…0,5	850…1050	65…68	До 60…200	880…590	38Х2МЮА и др.

Поверхностная термическая обработка						
Поверхностная индукционная закалка (закалка с нагревом ТВЧ) и низкий отпуск	1,6…5,0	-	45…55	40…100	375	40Х, 45 и др.
Объемно-поверхностная индукционная закалка с глубинным нагревом и низкий отпуск	1,5…2,0	-	58…61	6	1850	55ПП
Лазерная закалка (термоупрочнение) и низкий отпуск	0,5…1,0	950…1200	67…72	16…25	460…780	45, 45Х и др.

Таблица П10

Данные по поверхностной индукционной закалке

Диаметр изделия, мм	Рекомендуемая глубина закаленного слоя, мм	Глубина закаленного слоя, мм	Рекомендуемая частота тока, Гц
40	1,6…3,1	1,5	25000*
60	2,3…3,9	2,0	15000*
80	2,6…4,5	3,0	8000**
100	2,9…5,0	4,0	4000**

Генератор тока: *ламповый или машинный;

** машинный.



Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ высшего
профессионального образования

НОВИКОВА Н.А

Методическое руководство для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»

для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 «Машиностроение»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки Российской федерации
Уральский государственный горный университет

ОДОБРЕНО:
Методической комиссией
Горно-механического факультета
Председатель комиссии
_____ проф. В.П.Барановскиий

Методическое руководство

для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»

Издание УГГУ
Новикова Н.А. Методическое руководство для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» Екатеринбург, 2019

для студентов очного и заочного обучения специальности 150700- «Машиностроение» (МШС). Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2014. 33 с.

В руководстве изложены методические указания, последовательность решения задач по допускам гладких цилиндрических соединений, цилиндрических зубчатых колес, подшипников качения и размерных цепей, приведены справочные данные, необходимые для решения задач.

Пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования, ----------. (протокол №-----) и рекомендовано к изданию в УГГУ.

© Новикова Н.А.,
© УГГУ 2014 г.

В целях закрепления основных положений по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты самостоятельно выполняют две расчетно-графические работы.

РАБОТА №1

Работа заключается в анализе допусков и посадок гладких соединений. Анализируются все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета и заданного номинального размера и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета и размера.

Работа выполняется на специальном бланке и подлежит защите. Бланк заполняется карандашом, с соблюдением требований ГОСТ 2.307-68.

Для выполнения данной работы студенту необходим для определения полей допусков ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75).

1.Последовательность выполнения работы

1.1. Для выполнения работы студент получает бланк с заданием.

1.2. Из таблицы ГОСТ 25347-82 выписать в графу 1 бланка работы все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета, и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета.

1.3 Посадки записываются в соответствии с ГОСТ на условные обозначения полей допусков: предельные отклонения отверстия записываются в числителе, а вала – в знаменателе, например: 50 $\frac{H7}{e8}$ или 50 *H7/e8*. Где: 50 – номинальный размер соединения; *H7*- условное обозначение поля допуска отверстия; *e8*- поле допуска вала.

Аналогично по заданному квалитету и номинальному размеру выписываются все стандартные посадки в системе вала.

1.4. В графы 2 и 3 каждой системы (система отверстия, система вала) заносятся числовые значения предельных отклонений для всех полей допусков.

Числовые значения предельных отклонений принимаются по ГОСТ25347-82 (СТ СЭВ 144-75). При отсутствии указанного стандарта предельные отклонения находят расчетным путем с помощью ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

1.5. В графы 4 и 5 каждой системы посадок записываются исполнительные размеры для отверстий и валов с указанием условного обозначения предельных отклонений, а в графы 6 и 7 – исполнительные размеры, но уже в числовых величинах предельных отклонений, мм.

1.6. Проводится математический анализ зазоров и натягов для каждого сопряжения в обеих системах. Величины зазоров и натягов по абсолютной величине, в мкм, заносятся в графы отчета 8, 9, 10 и 11 соответственно каждой системы посадок.

Предельные зазоры и натяги определяются:

посадки с зазором:

$$S_{max} = ES - ei\ , \qquad S_{min} = EI - es\ ;$$

посадки с натягом:

$$N_{max} = es - EI, \qquad N_{min} = ei - ES ;$$

переходные посадки:

$$S_{max} = ES - ei, \qquad N_{max} = es - EI,$$

где S_{max} и S_{min} - наибольший и наименьший зазор;
N_{max} и N_{min} - наибольший и наименьший натяг;
ES и EI - верхнее и нижнее отклонение отверстия;
es и ei - верхнее и нижнее отклонение вала.

1.7. Определяется для посадок в системе отверстия и в системе вала допуск посадки исходя из предельных зазоров или натягов.

Для посадок с зазором $T_n = S_{max} - S_{min} = IT_D + IT_d$;
Для посадок с натягом $T_n = N_{max} - N_{min} = IT_D + IT_d$;
Для переходных посадок $T_n = S_{max} + N_{max} = IT_D + IT_d$;

При этом IT_D – допуск отверстия,
IT_d – допуск вала.

Результаты расчета заносятся в графу 12 бланка отчета соответственно каждой посадке, мкм.

1.8. Строятся схемы полей допусков для всех посадок в системе отверстия и в системе вала. Для построения полей допусков следует принять определенный масштаб.

1.9. Для одной (любой) посадки в системе отверстия и для одной посадки в системе вала оформляются эскизы сопряжений.

При этом на эскизах сопряжений указать исполнительные размеры на двух размерных линиях: на одной указать номинальный размер и условное обозначение предельных отклонений, на второй - номинальный размер с числовыми предельными отклонениями.

Образец контрольной работы №1 приведен в таблице 1.1 и Рис.1.1, Рис.1.2.

Таблица 1.1

Дать анализ всех стандартных посадок в системе вала с валом h5 номинального размера 20 мм

Посадка	Отклонение в мкм.		Наносимый размер на чертежах деталей (в мм)				Натяги в мкм		Зазоры в мкм		Допуск посадки в мкм
	Отв.	Вала	Условно		С числовыми отклонениями		max	min	max	min	
	ES EJ	es ej	Отв.	Вала	Отв.	Вала					

Схема полей допусков для размера 20 мм с полем допуска основного вала h5

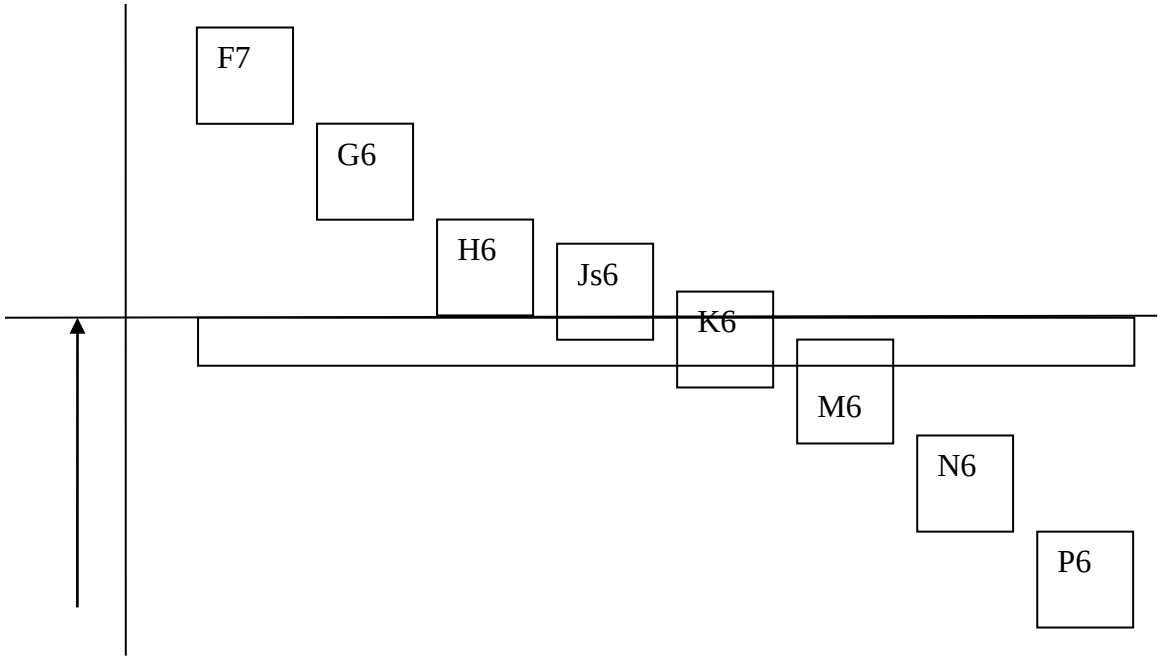


Рис 1.1 Эскизы деталей и сопряжения для посадки с полем допуска h5 в системе вала

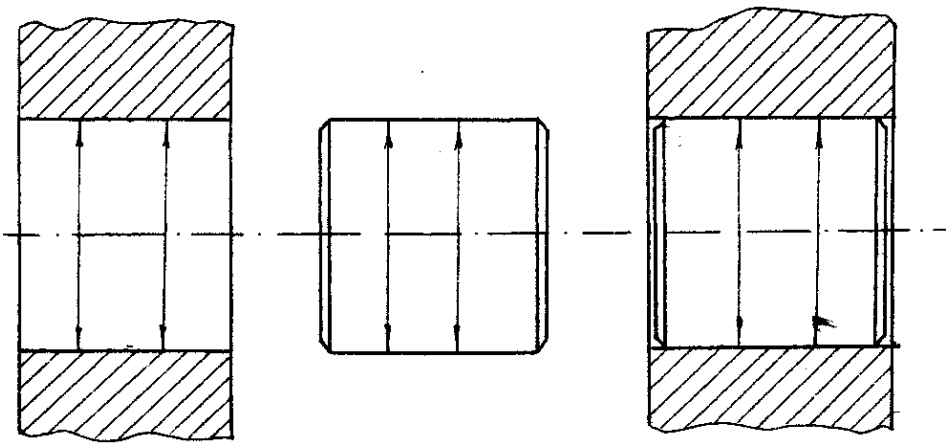


Рис.1.2.Схема обозначения посадок на чертежах

РАБОТА №2

Работа включает в себя следующие расчеты:
- расчет и выбор посадки с зазором,
- расчет и выбор посадки с натягом,
- выбор посадок для подшипников качения,
- определение исполнительных элементов зубчатого колеса,
- решение размерных цепей.

Работа выполняется на бумаге формата А4.

Номера вариантов задаются студентам преподавателем.

2.1. Расчет и выбор посадки с зазором

По заданным условиям работы подшипника скольжения студент должен рассчитать и выбрать стандартную посадку из ГОСТ 25347-82.

Последовательность расчета:

2.1.1. Определяется удельное давление на подшипник, Па

$$P = \frac{R}{D \bullet l},$$

где R - радиальная нагрузка на цапфу, Н;
D - номинальный диаметр сопряжения, м;
l - длина сопряжения, м.

2.1.2. Определяется относительная длина подшипника

$$\lambda = \frac{l}{D}$$

2.1.3. Если рабочая температура подшипника отличается от температуры, при которой устанавливается вязкость масла, необходимо определить динамическую вязкость масла при рабочей температуре. Машинные масла испытываются при $t = 50^0$С, а тяжелые и моторные масла при температуре $t = 100^0$С

$$\mu_t = \mu_{50}\left(\frac{50}{t^0}\right)^x \quad \text{или} \quad \mu_t = \mu_{100}\left(\frac{100}{t^0}\right)^x$$

где μ_{50} и μ_{100} – динамическая вязкость масла, принятая по таблице 2.2, Па·с;
t - рабочая температура подшипника;

x – показатель степени, принимаемый в зависимости от вязкости масла по таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значение показателя степени

Вязкость св. масла, Па С от	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09
до	0,04	0,05	0,07	0,09	-
Значение x	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0

Таблица 2.2

Вязкость масел при температуре t =50^{0}С

Марка масла	Вязкость, Па·с	Марка масла	Вязкость, Па·с
И-8А	0,005…0,007	ИГП-4	0,003…0,004
И-12А	0,009…0,012	ИГП-6	0,004…0,006
И-20А	0,015…0,019	ИГП-8	0,006…0,007
И-25А	0,021…0,023	ИГП-18	0,014…0,017
И-30А	0,025…0,028	ИГП-30	0,024…0,026
И-40А	0,031…0,039	ИГП-38	0,030…0,034
И-50А	0,041…0,048	ИГП-49	0,041…0,045
И-70А	0,057…0,066	ИГП-72	0,062…0,066

Таблица 2.3.

Коэффициент точности по квалитетам

Квалитеты	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
«а»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Таблица 2.4.

Единица допуска для размеров от 1 до 500 мм

Интервалы	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400

диаметров	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
Единица допуска ι, мкм	0,54	0,73	0,90	1.09	1,30	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3.23	3,54	3,89

2.1.4. Вычисляется характеристика режима работы подшипника по зависимости

$$A = \frac{\mu \cdot \omega}{P},$$

где μ_t - динамическая вязкость масла при рабочей температуре подшипника, Па.с

ω - угловая скорость вращения вала, рад/с.

P - удельное давление на подшипники, Па;

Если по условию задачи задана частота вращения вала, то угловую скорость можно определить по зависимости

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

где n – частота вращения вала, об/мин.

2.1.5. Вычисляется оптимальный относительный зазор при относительном эксцентриситете χ =0,5.

$$\psi_{опт} = \sqrt{A \cdot C_{R1}},$$

где C_{R1} – коэффициент несущей способности подшипника, соответствующий χ =0,5. Принимается по табл. 2.5.

Таблица 2.5

Значение коэффициентов C_{R1}, C_{R2}, C_{R3} в зависимости от относительного эксцентриситета

Относительный эксцентриситет χ	Значение C_R при λ					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,3	0,089	0,133	0,182	0,234	0,287	0,339
0,5	0,216	0,317	0,427	0,538	0,647	0,754
0,75	0,776	1,098	1,418	1,720	1,965	2,248
χ	C_R при λ					
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	2,0

0,3	0,391	0,440	0,487	0.529	0,610	0,763
0,5	0,853	0.947	1,033	1,111	1,248	1,483
0,75	2,469	2,664	2,838	2,990	3,242	3,671

2.1.6. Вычисляется минимальный относительный зазор при *относительном* эксцентриситете χ =0,3.

$$\psi_{minF} = \sqrt{A \cdot C_{R2}} \ ,$$

2.1.7. Вычисляется максимальный относительный зазор при относительном эксцентриситете χ =0,75.

$$\psi_{maxF} = \sqrt{A \cdot C_{R3}},$$

2.1.8. Зная относительные зазоры и номинальный диаметр соединения, определяют предельные диаметральные зазоры, мм

$$S_{opt} = \psi_{onm} \cdot D; \ S_{min\,F} = \psi_{minF} \cdot D; \ \ S_{maxF} = \psi_{maxF} \cdot D$$

где D- номинальный диаметр соединения, мм.

2.1.9. По предельным зазорам определяется допуск зазора, мкм

$$T_{sF} = S_{maxF} - S_{min\,F}$$

2.1.10. Устанавливается коэффициент точности по зависимости

$$a = \frac{T_{SF}}{2 \cdot i} \ ,$$

где i – единица допуска, мкм, принимаемая по табл. 2.4.

В ГОСТ 25 346-82 (или табл.2.3).по величине a определяется квалитет для сопрягаемых деталей.

2.1.11. Определяется оптимальная величина масляного клина из условия

$$h_{min\,opt} = 0{,}25\ S_{opt};$$

$$h_{min\,opt} = k(Rz_D + Rz_d + \gamma_g)$$

где Rz_D и Rz_d – шероховатость сопрягаемых поверхностей деталей, мкм;

k - коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя, принимают $k \geq 2$;

γ_g – добавка на неразрывность масляного слоя с учетом отклонений формы, расположения поверхности вала и прогиба вала.

При $\lambda \geq 1$, $\gamma_g = 2 \div 3$; при $\lambda < 1$, $\gamma_g = 1$.

2.1.12.Определяется оптимальная шероховатость сопрягаемых поверхностей, приняв $h_{\min\ opt}$ равной 0,25 от S_{opt}, мкм

$$Rz_{\ opt} = \frac{h_{\min opt} - K\gamma_g}{2K} \quad ,$$

Полученная величина $Rz_{\ opt}$ округляется до стандартной по ГОСТ 2789-73. (Таблица 2.6)

Таблица 2.6

Ряды числовых значений шероховатости и базовых длин

***L*, мм**	***Ra*, мкм**	***Rz*, мкм**	***L*, мм**	***Ra*, мкм**	***Rz*, мкм**
8	80	320	0,8	2,5	10,0
	63	250		2,0	8,0
	50	200		1,6	6,3
	40	160		1,25	5,0
	32	125		1,00	4,0
	25	100		0,80	3,2
	20	80		0,63	2,5
	16	63		0,50	2,0
	12.5	50		0,40	1,6
2,5	10,0	40	0,25	0,32	1,25
	8,0	32		0,25	1,00
	6,3	25		0,20	0,80
	5,0	20		0,16	0,63
	4,0	16		0.125	0,50
	3,2	12,5		0,100	0.40

2.1.13. Учитывая шероховатость поверхностей определяются технологические зазоры в соединении, мм

$$S_{max\ t} = S_{max\ F} - 2(R_{zD} + R_{zd});$$

$$S_{min\ t} = S_{min\ F} - 2(R_{zD} + R_{zd}).$$

2.1.14. В таблицах ГОСТ 25347-82 выбирается стандартная посадка из условия

$$S_{mi\ n} \geq S_{min\ t};$$
$$S_{max} \leq S_{max\ t}.$$

где $S_{mi\ n}$ и S_{max} - наименьший и наибольший табличные зазоры по ГОСТ 25347-82

При выборе посадки следует руководствоваться следующими условиями:

1. Посадка, по возможности, должна состоять из предпочтительных полей допусков, первого ряда предпочтительности;

2. Допускается применять стандартную посадку первого ряда предпочтительности, у которой S_{min} будет меньше $S_{min\,t}$, но не более 15%;

3. Если окажется, что посадка должна быть 5-го квалитета или точнее, то в таком случае следует принять посадку более грубого квалитета (например, 6-го или 7-го) и назначить селективную сборку. Для такой посадки следует принимать поля допусков вала и отверстия одного квалитета. У принятой посадки средний зазор S_m должен быть близким к S_{opt};

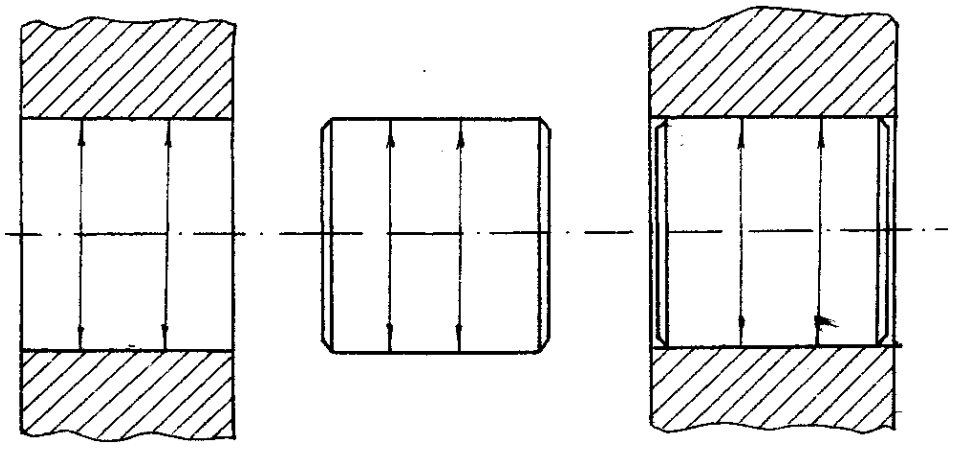
4. Количество групп сортировки определяется по зависимости:

$$n = \frac{T_s}{T_{sF}},$$

где T_s - допуск у принятой стандартной посадки по ГОСТ 25347-82;

T_{sF} - допуск посадки с зазором, полученный расчетом.

2.1.15. Выполнить эскиз вала, отверстия и вала в сборе, аналогично эскизов в работе №1. На эскизах нанести размеры с нанесением условных и числовых отклонений и нанести шероховатость по R_a.



2.2. Расчет и выбор посадки с натягом

По заданным нагрузкам и размерам соединяемых деталей рассчитать и выбрать стандартную посадку с гарантированным натягом.

Для выполнения работы необходимо иметь ГОСТ 25347-82.

Последовательность расчета:

2.2.1. По заданным значениям внешних сил и размерам сопрягаемых деталей определяется наименьшее удельное давление на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей.

При действии на соединение только осевой силы P_o, наименьшее удельное давление определяется по зависимости, Па

$$P_{min} = \frac{P_o}{\pi \cdot D \cdot L \cdot f} \quad ,$$

При действии на соединение только крутящего момента $M_к$, P_{min} находится из уравнения, Па:

$$P_{min} = \frac{2 \cdot M_к}{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot f} \quad ,$$

При действии на соединение одновременно $P_о$ и $M_к$ минимальное удельное давление P_{min} определяется по равнодействующей сил, Па

$$P_{min} = \frac{R}{\pi \cdot D \cdot L \cdot f} \quad ,$$

где $R = \sqrt{P_0^2 + M^2}$, н

$P_о$ – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н;

$M_к$ – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м;

D – диаметр соединения, м;

L- длина контакта сопрягаемых поверхностей, м

f - коэффициент трения при установившемся режиме распрессовки или проворачивания.

Коэффициент *f* зависит от материала сопрягаемых деталей, способа сборки, шероховатости поверхностей и других факторов.

В табл. 2.7. приведены коэффициенты трения при сборке деталей под прессом. Если детали будут собираться термическим способом, то коэффициент *f* следует увеличить в 1,8 раза, например, если обе сопрягаемые детали изготавливаются из стали, то при сборке деталей под прессом *f* = 0,008, а при термической сборке *f* = 0,14.

Таблица 2.7

Значение коэффициентов трения

Материал сопрягаемых деталей	Коэффициент трения *f*
Сталь – сталь	0,06 ÷ 0,12
Сталь – чугун	0,07 ÷ 0,12
Сталь – алюминиевые сплавы	0,03 ÷ 0,05
Сталь – латунь	0,05 ÷ 0,10
Сталь - бронза	0,06 ÷ 0,10

Таблица 2.8

Допустимые пределы текучести и коэффициенты линейного расширения некоторых сплавов

Марка сплава	$\sigma_т$, МПа	$\lambda \cdot 10^6$ $1/^0C$	Марка сплава	$\sigma_т$, МПа	$\lambda \cdot 10^6$ $1/^0C$
Сталь СТ 3	196	11,1	Сталь 50Х	880	13,4
Сталь СТ 5	265	11,1	Сталь 45Х	850	13,4
Сталь 08	190	11,1	Сталь 40Х	785	13,4
Сталь 20	198	11,9	Сталь 30Х	687	11,3
Сталь 30	245	11,1	Сталь 20Х	638	11,3
Сталь 35	270	11,1	Сталь 20Г	275	12,3
Сталь 40	275	11,3	Сталь 30Г	314	12,6
Сталь 45	310	11,6	Сталь 40Г	353	9,4
Сталь 50	314	11,2	Сталь 50Г	392	11,6

Сталь 55	324	11,0	Сталь 65Г	432	11,6
Алюминиевые сплавы			Чугуны СЧ 21-40	162	10,2
Д-1	245	22,9	СЧ 24-44	206	10,1
Д-6	294	22,0	СЧ 28-48	242	10,0
В-95	540	23,1	СЧ 32-52	267	10,0
АЛ-12	118	22,0	КЧ 35-10	215	10,2
АЛ-13	98	20,0	КЧ 37-12	226	10.0
			ВЧ 40-10	294	10.0
Бронзы					
БраЖМУ10-3-1,5	343	16,1			
БрОЦС 6-6-3	145	17,1			
Латунь					
ЛАЖМУ	396	18,7			
ЛМУСС	343	17,0			

Таблица 2.9

Значение модуля упругости и коэффициента Пуассона

Материал	Модуль упругости *E*, МПа	Коэффициент Пуассона μ
Сталь	210000	0,3
Чугун	110000	0,25
Бронза	84000	0,35
Латунь	78000	0,38

2.2.2. Определяется коэффициент Ляме, исходя из размеров сопрягаемых деталей

$$C_1 = \frac{1+(d_1/D)^2}{1-(d_1/D)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1+(D/d_2)^2}{1-(D/d_2)^2} + \mu_2;$$

где D - диаметр соединения, мм;

d_1 - диаметр отверстия пустотелого вала, мм;

d_2 – диаметр наружной поверхности втулки, мм;

μ - коэффициент Пуассона.

2.2.3. Определяется наименьший допустимый натяг в соединении, мкм

$$N_{minF} = P_{min} \cdot D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \cdot 10^6,$$

где D – диаметр соединения, м;

E_1 и E_2 – модуль упругости материалов, соответственно для материала вала и материала втулки, Па;

P_{min} – удельное давление, Па.

2.2.4. На основе теории наибольших касательных напряжений определяются максимальные допустимые удельные давления P_{max}, при котором отсутствуют пластические деформации на контактных поверхностях деталей. В качестве P_{maxF} ,берется наименьшее значение P_{max}, Па.

$$P_{max1}= 0{,}58\ \sigma_{T1}\ [1- (d_1/D)^2];$$

$$P_{max1}= 0{,}58\ \sigma_{T2}\ [1- (D/d_2)^2];$$

где σ_{T1} и σ_{T2} - предел текучести материалов вала и втулки, Па. (Таблица2.8)

2.2.5. Определяется наибольший расчетный натяг, мкм

$$N_{maxF}= P_{max} \cdot D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right) \cdot 10^6$$

2.2.6. Определяется допуск посадки, мкм

$$T_N = N_{maxF} - N_{minF}.$$

2.2.7. Устанавливается степень точности соединяемых деталей

$$a = \frac{T_N}{2 \cdot i},$$

где i- единица допуска, мкм, принять по таблице 2.4.

По величине «а» в таблице 2.3. устанавливается квалитет сопрягаемых деталей. Если «а» равно 25 единицам и более, следует принимать посадки с натягом 8-го квалитета или точнее. Для посадки зубчатого колеса на вал квалитет для отверстия следует принимать по степени точности зубчатого колеса.

2.2.8.В зависимости от квалитета сопрягаемых поверхностей определяется оптимальная шероховатость, величину которой можно принимать в процентах от допуска на размер детали:

- для деталей 7 и 8-го квалитетов $Rz \approx 0{,}16\ T_p$;
- для деталей 5 и 6-го квалитетов $Rz \approx 0{,}2\ T_p$.

Полученные значения шероховатости округляются до стандартных по ГОСТ2789-73.(Таблица 2.6)

2.2.9. С учетом оптимальной шероховатости определяются технологические натяги, мм

$$N_{min\,t} = N_{minF} + 1{,}2(R_{z\,d} + R_{z\,D});$$

$$N_{max\,t} = [N_{maxF} + 1{,}2(R_{z\,d} + R_{z\,D})] \times 0{,}9.$$

2.2.10. В таблицах ГОСТ 25347-82 принимаются предельные отклонения основного отверстия, согласно принятого квалитета.

2.2.11. Нижнее технологическое отклонение вала находится по условию:

$$ei_t = N_{min\,t} + ES.$$

По нижнему отклонению вала в таблицах ГОСТ 25347-82 подбирается такое поле допуска вала, у которого

$$ei \geq ea_t, \quad \text{а} \quad es \leq N_{max\,t},$$

где ei и es – табличные значения нижнего и верхнего отклонений вала.

2.2.12. Дать эскизы сопрягаемых деталей в сборе и отдельно для вала и для втулки, аналогично, как в работе №1. На эскизах деталей нанести шероховатость по критерию R_a.

2.3. Выбор посадок для подшипников качения

Данные для расчета задаются преподавателем.

Выбор посадок для поверхностей деталей машин, сопрягаемых с кольцами подшипников качения зависит от вида нагружения кольца подшипника. ГОСТ 3325-85 устанавливает три вида нагружения колец подшипников качения:

местное, циркуляционное и колебательное.

Местным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка постоянно воспринимается одним и тем же ограниченным участком дорожки качения этого кольца и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса.

Такой вид нагружения имеет место когда кольцо не вращается относительно действующей на него нагрузки или кольцо и нагрузка участвуют в сов-

местном вращении. В качестве примеров местного нагружения можно привести наружное кольцо в корпусе редуктора или внутреннее кольцо в катке гусеничного механизма.

Циркуляционным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка воспринимается и передается телами качения в процессе вращения дорожки качения последовательно всей посадочной поверхности вала или корпуса.

Такой вид нагружения возникает у вращающегося кольца при неподвижной нагрузке, например, внутреннее кольцо подшипника в редукторе, или наружное кольцо в катке гусеничного механизма.

Колебательным нагружением кольца считается такой вид нагружения, при котором неподвижное кольцо подшипника подвергается одновременному воздействию радиальных нагрузок постоянной по направлению P_c и вращающей P_ν меньшей или равной по величине P_c.

Их равнодействующая R совершает периодическое колебательное движение. Посадки на колебательно нагруженное кольцо назначают как для местно-нагруженного кольца если $P_c \geq P_\nu$ или как для циркуляционно-нагруженого кольца, если $P_\nu \geq P_c$.

Посадки для местно-нагруженных колец выбираются с небольшим гарантированным зазором из расчета, чтобы кольцо имело возможность за период эксплуатации совершить хотя бы один оборот. Для этой цели используются посадки с малым гарантированным зазором. Конкретную посадку можно выбрать согласно таблицы 2.10.

Таблица 2.10

Поля допусков для поверхностей деталей, сопрягаемых с кольцами, имеющими местное нагружение

Номинальные размеры		Поля допусков						
		Для валов		Для отверстий в корпусе				Тип подшипников
				Не разъемных		разъемных		
		Класс точности и подшипников						
		P0; P6	P4; P5	P0; P6	P5; P4	P0; P6	P5; P4	
Св.	до	Нагрузка спокойная умеренная						
-	80	h6	h5	H7	H6	H7	H6	Все типы кроме
80	260	g6	g5	G7	G6	H7	H6	штампованных
260	500	f6	g5	G7	G6	H7	H6	и упорных
500	1600	-	-	F7	G6	H7	H6	
		Нагрузка с ударами и вибрацией						
-	80	h6	h5	I_S7	I_S6	I_S7	I_S6	Все типы кроме
80	260	h6	h5	H7	H6	I_S7	I_S6	штампованных
260	500	g6	g5	H7	H6	I_S7	I_S6	и конических

500	1600	-	-	H7	H6	IS7	IS6	
- 120	120 1600	h6 g6	h5 g5	H7 H7	H6 H6	IS7 IS7	IS6 IS6	Для роликовых конических двухрядных

Посадка циркуляционно-нагруженных колец должна осуществляться с гарантированным натягом. Для этой цели используются следующие поля допусков:

а) если наружное кольцо имеет циркуляционное нагружение, то отверстие в корпусе обрабатывают с полями допусков:

для подшипников класса *P0* и *P6 - K7; M7; N7; P7*;

для подшипников класса *P5* и *P4 - K6; M6; N6; P6*;

б) если внутренне кольцо имеет циркуляционное нагружение, то шейку вала следует обрабатывать с полями допусков:

для колец подшипников класса *P0* и *P6 – j_s 6; к6; m6; n6; p6; r6*

для колец подшипников класса *P5* и *P4 - j_s 5; к5; m5; n5*.

Конкретное поле допуска может быть определено расчетным путем.

Если внутреннее кольцо имеет циркуляционное нагружение, то посадку можно выбрать по величине наименьшего натяга, который можно определить из уравнения, мм

$$N_{minF} = \frac{13 \cdot R \cdot к}{b \cdot 10^6},$$

где R – суммарная радиальная нагрузка, действующая на опоры, *Кн*;

K – коэффициент, принимаемый для подшипников серии диаметров 9, 8, 7, 0, 1 ,2 или серии ширин 8, 7, 1, 0 (легкая серия) равным 2,8; для серии 1 диаметров 3, 5, 6 или серии ширин 2,3 (средняя серия) равным 2,3; для серии диаметров 4, 6 или серий ширин 4, 5, 6 (тяжелая серия) равным 2,0.

b – активная часть кольца подшипника, м

$$b = B - 2 \cdot r$$

где B – ширина кольца, м

r – размер фаски кольца, м

Во избежание разрыва кольца выбранная посадка проверяется на максимальный натяг, допустимая величина максимального натяга определяется из зависимости, мм

$$N_{max\ F} = \frac{11{,}4 \cdot Kd[\sigma_D]}{(2K - 2)\ 10^3},$$

где $[\sigma_P]$ - допускаемое напряжение на растяжение, МПа
(для подшипниковой стали 400 МПа)
d - диаметр внутреннего кольца подшипника качения, м

Поле допуска выбирается из условия $ei_t \geq N_{minF}$,, но принятое поле допуска не должно создавать натяг $N_{max} \leq N_{max\,F}$

При циркуляционном нагружении кольца подшипника выбор посадки на вал и отверстие корпуса можно производить по интенсивности нагружения на посадочной поверхности кольца подшипника качения. Величину интенсивности можно подсчитать по зависимости, кН/м

$$P_R = \frac{R}{b} K_1 K_2 K_3,$$

где R - радиальная реакция опоры на подшипник, кН
b - рабочая ширина посадочного места, м

$$b = B - 2 \cdot r$$

B - ширина кольца подшипника, м
r - радиус закругления или ширина фаски кольца подшипника, м
K_1 - динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки, принимается по таблице 2.11.
K_2 - коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе, принимается по таблице 2.12. Для сплошного вала $K_2 = 1$;
K_3 - коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки E между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки A на опору. Значение коэффициента K_3, зависящее от $A / R \cdot ctg\beta$ приведено в табл. 2.13 (угол β - угол контакта тел качения с дорожкой качения наружного кольца зависит от конструкции подшипника $\beta = 12°; 26°; 36°$. Для однорядных подшипников $K_3 = I$.

Таблица 2.11

Характер нагрузки	K_1
Нагрузка с умеренными толчками и вибрацией	1,0
Нагрузка с сильными толчками и вибрацией, перегрузки достигают до 300%	1,8

Таблица 2.12

Коэффициент K_2

d_0/d	D/D_H	Значение коэффициента для			
		вала			корпуса
Св.	До	$D/d \le 1,5$	$D/d>1,5$	$D/d>2-3$	
-	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0
0.4	0.7	1.2	1.4	1.6	1.1
0.7	0.8	1.5	1.7	2.0	1.4
0.8	-	2.0	2.3	3.0	1.8

Таблица 2.13

Коэффициент K_3

A/R ctg β		K_3
Св.	до	
-	0.2	1.0
0.2	0.4	1.2
0.4	0.6	1.4
0.6	1.0	1.6
1.0		2.0

По величине P_R в табл. 2.14 выбирается поле допуска для поверхности детали, сопрягаемой с циркуляционно-нагруженным кольцом. Поля допусков принимаются для подшипников классов РО и Р6 для корпуса по 7-му квалитету, для вала по 6-му квалитету; для подшипников классов Р5 и Р4 принимаются для отверстия в корпусе по 6-му квалитету, а для вала по 5-му квалитету.

Таблица 2.14

Допустимые интенсивности нагрузок на вал и корпус для подшипников качения

Диаметр, мм		Допустимые значения P_R, кН/м				
		Поля допусков вала				
Св.	до	j_s6; j_s5	k6; k5	m6; m5	n6; n5	p6
18	80	до 300	300-1350	1350-1600	1600-3000	св. 3000
80	180	550	550-2000	2000-2500	2500-4000	4000
180	360	700	700-3000	3000-3500	3500-6000	6000
360	630	900	900-3400	3400-4500	4500-8000	8000
Диаметр, мм		Поля допусков корпуса				
Св.	до	К7; К6	М7; М6	N7; N6	Р7; Р6	
50	180	до 800	800-1000	1000-1300	1300-2500	
180	360	1000	1000-1500	1500-2000	2000-3300	
360	630	1200	1200-2000	2000-2600	2600-4000	
630	1600	1600	1600-2500	2500-3500	3500-5500	

Работа должна выполняться в следующей последовательности.

По номеру подшипника в справочнике определить размеры колец подшипников.

По классу точности подшипника в стандарте ГОСТ 520-71 (СТ СЭВ 774-77) или справочнике определить числовые предельные отклонения для наружного диаметра D и внутреннего диаметра d .

Установить характер нагружения колец подшипников качения, исходя из условия работы подшипника.

Для местно-нагруженного кольца в табл. 2.10 подобрать поля допусков согласно класса точности кольца подшипника.

Выполнить расчет посадки для циркуляционно-нагруженного кольца подшипника.

Для принятых полей допусков в табл. ГОСТ 25347-82 определить числовые отклонения для вала и отверстия в корпусе.

По предельным отклонениям построить схемы полей допусков.

Подсчитать зазоры и натяги для посадки наружного и внутреннего колец подшипников и заполнить таблицу отчета по образцу (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Анализ посадок подшипникового соединения

Класс точности подшипника		Сопряжения подшипника	
		С валом	С корпусом
Посадка			
Отклонение вала, мкм	es		
	ei		
Отклонения отверстия, мкм	ES		
	EI		
Натяги, мкм	N_{max}		
	N_{min}		
Зазоры, мкм	S_{max}		
	S_{min}		

Выполнить эскизы опоры, шейки вала и отверстия в корпусе. На эскизе узла нанести только условные обозначения полей допусков сопрягаемых деталей. Обозначение полей допусков колец подшипников на сборочном чертеже не указывается. На эскизах деталей нанести: условное и числовое обозначение предельных отклонений, допуск цилиндричности, биение заплечиков и шероховатость.

Допуск цилиндричности принимать равным 1/4 от допуска размера для поверхностей деталей, сопрягаемых с кольцом подшипника классов РО и Р6 или 1/8 от допуска размера для подшипников классов Р5 и Р4. Допуски торцового биения принять по табл. 2.16, а допустимую шероховатость по критерию Ra в табл. 2.17.

Таблица 2.16

Биение заплечиков в мкм (не более)

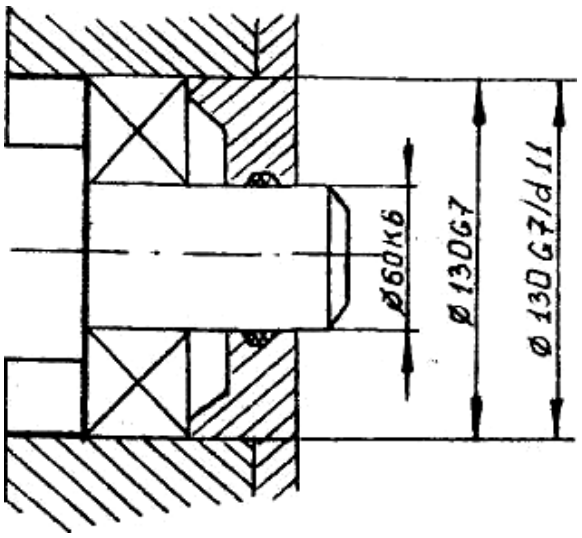
Заплечиков валов					Заплечиков корпуса				
d, мм	Р0	Р6	Р5	Р4	D, мм	Р0	Р6	Р5	Р4
	Классы подшипников					Классы подшипников			
До 50	20	10	7	4	До 80	40	20	13	8
Св 50 до 120	25	12	8	6	Св 80 до 120	45	22	15	9
Св 120 до 250	30	15	10	8	Св 120 до 150	50	25	18	10
Св 250 до 315	35	17	12	9	Св 150 до 180	60	30	20	12
Св 315 до 400	40	20	13	5	Св 180 до 250	70	35	23	14
					Св 250 до 315	80	40	27	16
					Св 315 до 400	90	45	30	18
					Св 400 до 500	100	50	33	12

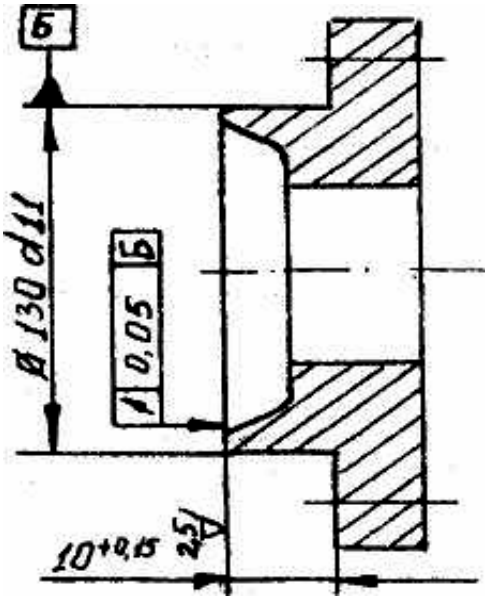
Таблица 2.17

Шероховатость по Ra, мкм, для посадочных мест под подшипники

Посадочные места	Классы точности подшипников	Ra для номинальных диаметров, мкм	
		До 80	Св 80
На валах	Р0 Р6 и Р5 Р4	1,25 0,63 0,32	2,50 1,25 0,63
В отверстии корпуса	Р0 Р6, Р5, Р4	1,25 0,63	2,50 1,25
Торцы заплечиков вала и корпуса	Р0 Р6, Р5, Р4	2,50 1,25	2,50 2,5

Образец выполнения эскиза опоры





2.4. Определение исполнительных размеров элементов зубчатого колеса, влияющих на норму бокового зазора

Варианты задаются преподавателем.

У зубчатых колес норму бокового зазора можно проверить при измерении следующих элементов:

I) предельных смещений исходного контура;

2) средней длины общей нормали;

3) размера постоянной хорды.

Допустимые размеры смещения исходного контура определяются по ГОСТ 1643-81.

2.4.1. Величина наименьшего дополнительного смещения исходного контура E_{HS} принимается по табл. 14 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.18 настоящих методических указаний). Для нахождения необходимо знать вид бокового зазора, размер делительного диаметра и степень точности по норме плавности.

Номинальный размер делительного диаметра можно определить по зависимости, мм

$$d = z \cdot m$$

Где z - число зубьев зубчатого колеса;

m- модуль, мм.

Степень точности может быть задана условным обозначением. Если у зубчатого колеса степень точности по всем нормам принята одна и та же, то условное обозначение имеет вид:

8 - В ГОСТ 1643-81 .

В данном примере степень по всем трем нормам, восьмая, вид бокового зазора "В" и вид допуска на боковой зазор " в ".

При комбинированной степени точности условное обозначение имеет вид:

8 - 7 - 7 - Ва ГОСТ 1643-81

Вид допуска

Вид бокового зазора

Степень по норме контакта

Степень по норме плавности

Степень по норме кинематической точности

Таблица 2.18

Нормы бокового зазора (показатель – E_{HS})

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр d, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
Н	3 – 6	12	14	16	18	20	22
	7	14	16	18	20	22	25
Е	3 – 6	30	35	40	46	52	57
	7	35	40	45	50	55	60
D	3 – 6	46	54	63	72	81	89
	7	50	60	70	80	90	100

	8	55	70	80	90	100	110
C	3 – 6	74	87	100	115	130	140
	7	80	100	110	120	140	160
	8	90	110	120	140	160	180
	9	100	120	140	160	180	200
B	3 – 6	120	140	160	185	210	230
	7	140	160	180	200	250	250
	8	140	160	200	220	250	280
	9	160	180	200	250	280	300
A	3 – 6	190	220	250	290	320	360
	7	200	250	280	300	350	400
	8	220	280	300	350	400	450
	9	250	280	350	400	400	500

Таблица 2.19

Норма кинематической точности

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль, мм	Делительный диаметр d, мм			
			до 125	св 125 до 400	св 400 до 800	св 800 до 1600
			Размер показателя, мкм			
1	2	3	4	5	6	7
6	Fr	от 1 до 3,5	25	36	45	50
		св 3,5 до 6,3	28	40	50	56
		св 6,3 до 10	32	45	56	63
	Fvw	от 1 до 16	16	28	45	70
	Fi ”	от 1 до 3,5	36	50	63	71
		св 3,5 до 6,3	40	56	71	80
		св 6,3 до 10	45	63	80	90
7	Fr	от 1 до 3,5	36	50	63	71
		св 3,5 до 6,3	40	56	71	80
		св 6,3 до 10	45	63	80	90
	Fvw	от 1 до 25	22	40	60	100
	Fi ”	от 1 до 3,5	50	71	90	100
		св 3,5 до 6,3	56	80	100	112
		св 6,3 до 10	63	90	112	125
1	2	3	4	5	6	7
8	Fr	от 1 до 3,5	45	63	80	90
		св 3,5 до 6,3	50	71	90	100
		св 6,3 до 10	56	80	100	112
		от 1 до 16	-	90	112	125
	Fvw	от 1 до 40	28	50	80	120
	Fi ”	от 1 до 3,5	63	90	112	125
		св 3,5 до 6,3	71	100	125	140
		св 6,3 до 10	80	112	140	160
		от 1 до 16	-	125	160	180
9	Fr	от 1 до 3,5	71	80	100	112
		св 3,5 до 6,3	80	100	112	125
		св 6,3 до 10	90	112	125	140
		от 1 до 16	-	125	160	160
	Fi ”	от 1 до 3,5	90	112	140	160
		св 3,5 до 6,3	112	140	160	180

		св 6,3 до 10 от 1 до 16	125 -	160 180	180 224	200 224
6	Fc	от 1 до 16	16	28	45	70
7	Fc	от 1 до 16	22	40	60	100
8	Fc	от 1 до 16	28	50	80	120

Таблица 2.20

T_H – допуск на смещение исходного контура, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	55	60	70	80	110	120	160
D	d	70	80	90	100	140	160	200
C	c	90	100	120	140	180	200	250
B	b	100	120	140	180	200	250	300
A	a	140	160	180	200	250	300	350

2.4.2. Наибольшее дополнительное смещение исходного контура определяется из условия:

$$E_{Hi} = | E_{Hs} | + T_H,$$

где T_H – допуск на смещение исходного контура.

Допуск T_H – принимают по табл. ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.20 методических указаний) по величине допуска на радиальное биение зубчатого венца F_r и виду допуска на боковой зазор.

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r принимается по табл. 6 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.19 методических указаний) по величине делительного диаметра и степени точности по норме кинематической точности.

Наименьшее и наибольшее смещения исходного контура принимаются всегда в тело колеса, т.е. для внешних колес внешнего зацепления принимается смещение исходного контура со знаком «минус», а для зубчатых колес внутреннего зацепления принимается со знаком «плюс».

2.4.3. Номинальный размер длины общей нормали для цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями определяют по зависимости, мм

$$W = m\,[1{,}476\,(2\cdot Z_{wr} - 1) + 0{,}0149\cdot z]$$

где m – модуль зубчатого колеса, мм;

z – число зубьев зубчатого колеса, мм;

Z_{wr} – число зубьев в длине общей нормали; для цилиндрических зубчатых колес принимается по зависимости:

$$Z_{wr} = 0{,}111\cdot z + 0{,}5.$$

Полученную величину Z_{wr} округляют до целого числа, например, 2, 3, 4, 5 и т.д.

Исполнительный размер должен иметь два предельных отклонения.

Наименьшее уменьшение длины общей нормали принимают из двух таблиц ГОСТ 1643-81. Первое слагаемое E_{wms} *I* принимают в табл. 16 по размеру делительного диаметра и виду бокового зазора; второе слагаемое принимается в табл. 17 по величине допуска на радиальное биение зубчатого венца (табл. 2.21 и табл. 2.22 методических указаний)

$$E_{wms} = E_{wms}\, I + E_{wms}\, II.$$

Таблица 2.21

Нормы бокового зазора (показатель – E_{wms} слагаемое 1)

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
H	3 – 6 7	8 10	10 10	11 12	12 14	14 16	16 18
E	3 – 6 7	20 25	24 30	28 30	30 35	35 40	40 45
D	3 – 6 7 8	30 35 40	35 40 50	40 50 50	50 55 60	55 60 70	60 70 70
C	3 – 6 7 8 9	50 55 60 70	60 70 80 80	70 70 80 100	80 80 100 110	90 100 110 120	100 110 120 140
B	3 – 6 7 8 9	80 100 100 110	100 110 110 120	110 120 140 140	120 140 140 160	140 180 180 200	160 180 200 200
A	3 – 6 7 8 9	120 140 160 180	140 180 200 200	180 200 200 250	200 200 250 280	220 250 280 280	250 280 300 350

Таблица 2.22

Нормы бокового зазора (показатель – E_{wms} слагаемое 11)

Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr, мкм								
св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125	св125 до160	св160 До200
7	9	11	14	18	22	25	35	45
$- E_{wms} = - (E_{wms}1 + E_{wms}11)$								

Наибольшее уменьшение длины общей нормали определяется по зависимости:

$$E_{wmi} = |E_{wms}| + T_{wm},$$

где T_{wm} – допуск на среднюю длину общей нормали, принимается по табл. 18 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.23 методических указаний) в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца и вида допуска на боковой зазор.

Таблица 2.23

T_{wm}– допуск на среднюю длину общей нормали, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr, мкм						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	22	25	25	28	30	40	55
D	d	35	40	40	40	60	70	80
C	c	45	50	60	70	90	110	120
B	b	55	60	70	100	100	120	140
A	a	80	90	100	110	140	150	180

Для зубчатых колес внешнего зацепления отклонения принимаются со знаком «минус», т.е. в тело колеса:

$$W^{-Ewms}_{-Ewmi}$$

2.4.4. Исполнительный размер толщины зуба по постоянной хорде определяется в следующей последовательности.

Номинальный размер постоянной хорды для цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями определяют по зависимости, мм

$$\overline{S_c} = 1{,}387 \cdot m,$$

где m – модуль зубчатого колеса, мм.

Установочная высота постоянной хорды определяется по зависимости, мм

$$\overline{h_c} = 0{,}7476 \cdot m.$$

Наименьшее уменьшение постоянной хорды E_{cs} принимается в табл. 20 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.24 методических указаний) по размеру делительного диаметра и виду бокового зазора.

Таблица 2.24

Нормы бокового зазора (показатель – E_{cs})

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	делительный диаметр d, мм					
		до 80	св 80 до 125	св 125 до 180	св 180 до 250	св 250 до 315	св 315 до 400
		мкм					
D	3 – 6 7 8	35 35 40	40 45 50	45 50 60	55 60 70	60 70 70	60 70 80
C	3 – 6 7 8 9	55 60 70 70	60 70 80 90	70 80 90 100	80 90 100 120	90 100 120 140	100 120 140 140
B	3 – 6 7 8 9	90 100 100 120	100 120 120 140	120 140 140 160	140 140 160 180	160 180 180 200	160 180 200 220
A	3 – 6 7 8 9	140 150 160 180	160 180 200 200	180 200 220 250	200 220 250 300	250 250 300 300	250 300 350 350

Наибольшее уменьшение постоянной хорды принимается из условия

$$E_{ci} = |E_{cs}| + T_c,$$

где T_c – допуск на постоянную хорду, принимается по табл. 21 ГОСТ 1643-81 (или табл. 2.25 методических указаний) с учетом допусков на радиальное биение зубчатого венца и виду допуска на боковой зазор.

Таблица 2.25

T_c– допуск на толщину зуба, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца Fr						
		св 25 до 32	св 32 до 40	св 40 до 50	св 50 до 60	св 60 до 80	св 80 до100	св 100 до 125
H, E	h	40	45	50	70	70	90	100
D	d	50	60	70	70	110	120	140
C	c	70	70	90	100	140	160	180
B	b	70	90	100	140	140	180	220
A	a	100	120	140	140	180	220	250

Для цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления предельные отклонения принимают в тело колеса, т.е. отклонения принимают минусовое значение:

$$\overline{S}_{c}^{-Ecs}_{-Eci}$$

Все полученные данные сводятся в таблицу 2. 26 .

Таблица 2.26

Исполнительные размеры параметров

Обозначение параметра	Размер, мм	Обозначение параметра	Размер, мм
E_{HS}		F_r	
T_H		E_{CS}	
E_{HI}		T_C	
$E_{wms}1$		E_{CI}	
$E_{wms}11$		S	
T_{wm}		h_C	
E_{wmi}			
W			

2.5. Решение размерных цепей

Решение размерной цепи студенты выполняют при анализе размеров конкретной детали.

Студенту выдается чертеж ступенчатого валика или втулки с заданной последовательностью обработки.

В задаче требуется определить исполнительный размер одного из составляющих звеньев.

Работа выполняется в следующей последовательности.

2.5.1. Ознакомиться с определениями по размерным цепям, пользуясь конспектом лекций или учебной литературой

2.5.2. Построить схему размерной цепи.

2.5.3. Выявить замыкающее звено в размерной цепи.

2.5.4. Установить, какие составляющие звенья будут относиться к увеличивающим, а какие - к уменьшающим звеньям.

2.5.5. Определить числовые отклонения для всех звеньев размерной цепи по ГОСТ 25347-82 СТ СЭВ 144^75).

2.5.6. Путем решения размерной цепи определить исполнительный размер для заданного звена размерной цепи, для чего:

I) Записать уравнение предельных отклонений замыкающего звена, при решении размерной цепи методом Максимума-Минимума:

$$E_S A_\Delta = \sum_{j=1}^{k} \vec{E_S A_j} - \sum_{j=1}^{m} \overleftarrow{E_i A_j}$$

$$E_i A_\Delta = \sum_{j=1}^{k} \vec{E_i A_j} - \sum_{j=1}^{m} \overleftarrow{E_s A_j}$$

2) Подставить известные значения в уравнения размерной цепи и найти отклонения для заданного размера.

Приложение

Варианты заданий для работы № 2

Расчет и выбор посадки с зазором

Ва-риант	**D, мм**	**L,** мм	**R**, н	**n** об/мин**.**	**Масло**	**t°**р
I	100	90	9000	1250	ИГП - 38	60
2	120	НО	6000	1800	И – 30А	60
3	140	100	18800	3000	ИГП - 72	60

4	120	85	10000	1200	ИГП - 49	60
5	170	150	18000	1250	И – 20А	50
6	40	60	17900	1950	И – 40А	50
7	32	50	8000	1600	И – 50А	65
8	70	60	17500	1950	И – 40А	50
9	92	85	12500	2500	И – 30А	60
10	50	45	4500	1250	И – 40А	60
11	50	50	7200	1500	И – 50А	65
12	180	160	18600	1250	И – 25А	50
13	125	65	13000	1450	ИГП - 49	60
14	150	120	25000	2250	И – 40А	70
15	130	150	15000	860	И – 30А	65
16	85	80	4800	2000	ИГП - 49	70
17	130	120	7000	1850	И – 25А	60
18	80	70	15000	1500	ИГП - 38	65
19	45	45	7200	2500	ИГП - 49	65
20	82	150	9500	'960	ИГП - 72	60
21	32	52	2500	3000	ИГП - 18	50
22	165	125	12000	1250	ИГП - 49	60
23	130	70	18000	2500	ИГП - 72	65
24	180	120	12000	1860	И – 50А	60
25	65	80	8500	2800	И – 40А	50

Расчет и выбор посадок с натягом

Номер варианта	D ,мм	d_1.мм	$d_{2,мм}$	ι ,мм	M_k,Н.М	p_0, Н	Материал	
							Вала	Корпуса
1.	35	30	50	35	12	500	Бронз-6-6-3	Сталь 20
2.	220	70	230	200	460	0	Сталь 30	Сталь 20
3.	100	90	130	100	0	6000	Сталь 20	Сталь 30
4.	40	20	60	60	320	0	Сталь 30	СЧ 21-40
5.	50	40	70	80	350	0	Сталь 20	Сталь 35
6.	110	100	130	120	200	1000	Сталь 30	Сталь 08
7.	120	100	140	130	400	0	Сталь 08	Сталь 30
8.	30	0	40	50	120	0	Сталь 40	Сталь 45
9.	180	170	210	180	300	700	Сталь 20	Сталь 35
10.	115	100	130	90	200	0	Сталь 08	Сталь 20
11.	95	80	**110**	100	700	1000	Сталь 20	Сталь 35
12.	140	130	180	120	460	0	Сталь 08	Сталь 30
13.	40	20	60	60	100	0	Сталь 35	Сталь 35
14.	200	100	220	110	0	1500	Бронз 6-6-3	Сталь 30
15.	130	120	150	140	270	0	Сталь 20	Сталь 30
16.	60	0	70	70	420	0'	Сталь-45	Сталь 30
17.	200	100	220	300	450	600	Сталь 20	Сталь 30
18.	60	50	100	60	0	2000	Сталь 20	Сталь 30
19.	100	90	120	60	320	0	СЧ 21	Сталь 20
20.	130	120	160	150	350	0	Сталь 20	Сталь 45
21.	60	50	100	60	150	0	Сталь 20	Сталь 30
22.	75	60	100	80	250	0	Сталь 08	СЧ 21-40
23.	90	0	100	140	900	0	Сталь 30	Сталь 40
24.	150	140	170	150	960	0	Сталь 20	Сталь 30
25.	170	150	180	250	280	1000	Сталь 30	Сталь 20

Расчет посадок для подшипников качения

Номер вари-анта	Номер под-шипника	Класс	Рад. нагр. F, Н	Осев. нагр. F_a, Н	Характеристи-ки нагрузки	Что враща-ется	D/D_k или d/a
1	80310	6	12000	0	С ударами	Корпус	0,4
2	7515	5	10000	0	Умеренная	Вал	0,4
3	60310	0	3800	0	С ударами	Вал	0,6
4	60306	4	5000	0	Умеренная	Корпуса	0,5
5	80312	6	4600	0	С ударами	Корпус	0,5
6	7220	5	20000	1000	С ударами	Вал	0,3
7	7214	4	13500	2000	Умеренная	Вал	0,7
8	46116	0	9500	1000	С ударами	Корпус	0,6
9	46114	6	14500	1500	Умеренная	Корпус	0,4
10	60306	5	10000	0	С ударами	Вал	0,3
11	80214	4	12000	0	С ударами	Корпус	0,5
12	7520	0	9600	1000	Умеренная	Вал	0,6
13	7314	6	3400	1800	С ударами	Корпус	0,7
14	46310	5	5750	500	Умеренная	Вал	0,6
15	3617	4	17000	150	С ударами	Корпус	0,8
16	7310	0	9500	500	Умеренная	Вал	0,5 ,,
17	7208	6	6500	200	С ударами	Вал	0,4
18	36206	5	3800	250	С ударами	Корпус	0,5
19	36307	4	5900	500	Умеренная	корпус	0,5
20	7515	5	8500	600	С ударами	Вал	0,4
21	60305	6	7500	0	С ударами	корпус	0,6
22	3618	0	12000	1200	Умеренная	Вал	0,5
23	46310	6	9600	400	С ударами	Вал	0,6
24	34209	5	7500	900	Умеренная	Корпус	0,4
25	7218	4	21600	1000	Умеренная	Корпус	0,6

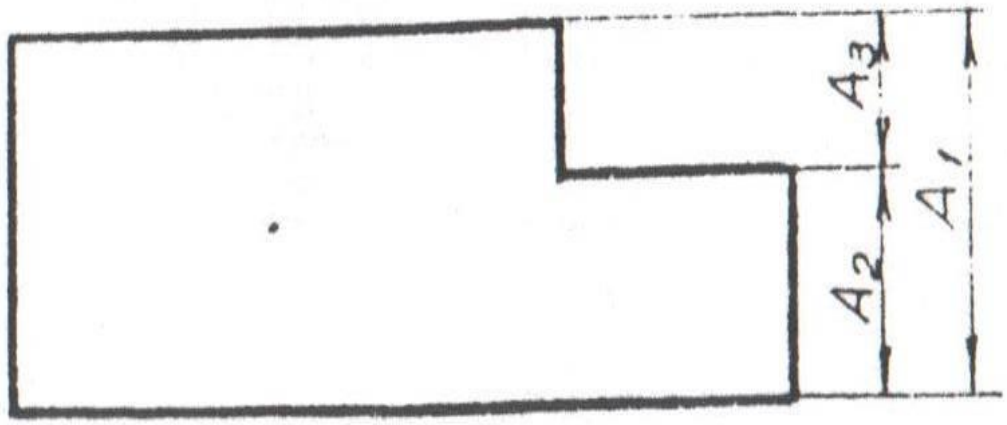
Определение элементов зубчатых колес

Их вар.	Z	m	степени точности
1	36	2.5	6-7-7-С
2	28	3,0	7-6-6-В
3	30	3,5	8-В
4	40	4,0	8-7-7-Ва-
5	29	4,0	7-6-6 -В
6	32	5,0	7-В
7	56	3,0	6-7-7-Д
8	45	2,0	5-6-6-Д
9	42	2,5	7-6-6-С
10	25	3.0	8-7-7-Ва
11	28	3,5	8-В а
12	50	4,0	8-7-7-С
13	36	3,5	8-В
14	62	5,0	7-6-6-Ва
15	46	3,0	8-В
16	45	4,0	8-7-7-С
17	38	3,0	8-7-7-В
18	40	2,5	6-7-7-Д
19	35	2,0	6-7-7-С
20	22	4,0	8-В
21	34	3.5	7-6-6-Ва
22	32	4,0	8-В а
23	60	5,0	7-В
24	62	4,0	8-7-7-В а
25	58	2,0	8-А

Расчет размерных цепей

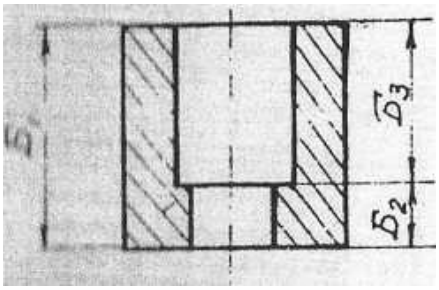
Задача № 1.

Определить исполнительный размер A_j -го звена, при заданной последовательности обработки.



Номер вар.	AI	A2	A3	Последовательность обработки	Определить размер
1	100 ℓ 11	40	60F9	A2 и A3	A2
6	120 d lo	75 js 12	45	A1 и A3	A3
11	80 f9	50 js 11	30	A1 и A3	A3
I6	150 8	65	85BII	A1 и A2	A2
21	130	75 d 10	55AII	A1 и A2	AI

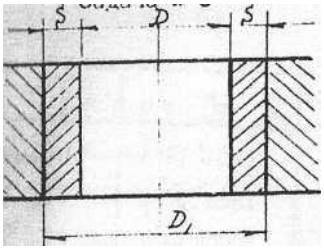
Задача № 2



Конструктор задал размеры $Б_I$ и $Б_2$, технологу удобнее обрабатывать в последовательности $Б_I :: Б_3$. Определить исполнительный размер $Б_3$ из условия, чтобы после обработки детали размеры $Б_1$ и $Б_2$ соответствовали заданным конструктором.

Номер вар.	$Б_I$	$Б_2$	Номер вар.	$Б_I$	$Б_2$
2	100 d 8	20 js 11	57	115 d 8	25 js 12
7	95 e 9	15 B 12	62	120 e 7	20 d 11
12	120 f 8	30 c 11	67	100 h 6	25 l 12
17	145 d 8	35 l 11	72	145 js 6	30 a 11
22	85 h 7	15 B 12	77	150 d 8	25 js 11

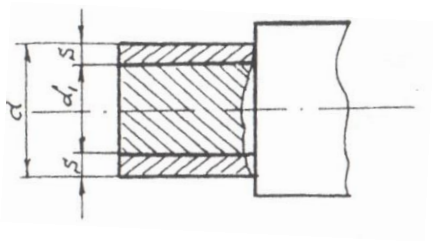
Задача № 3



Определить исполнительный размер отверстия D_1 до покрытия слоем металла, если после электрогальванического покрытия слоем S_j на сторону, отверстие должно иметь размер D.

Номер вар.	D	S	Номер вар.	D	S
3	140 D 10	$0^{+0.06}_{+0.03}$	58	130 B 11	$0^{+0.10}_{+0.07}$
8	125 E 9	$0^{+0.05}_{+0.03}$	63	100 A 11	$0^{+0.15}_{+0.12}$
13	80 js 11	$0^{+0.09}_{+0.05}$	68	56 D 11	$0^{+0.10}_{+0.97}$
18	75 D 11	$0^{+0.15}_{+0.13}$	73	115 E 9	$0^{+0.120}_{+0.105}$
23	185 D 10	$0^{+0.12}_{+0.09}$	78	125 B 11	$0^{+0.110}_{+0.070}$

Задача № 4.

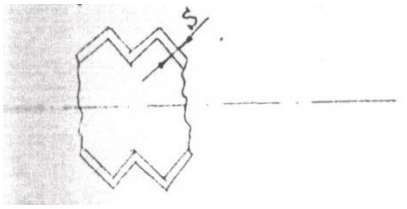


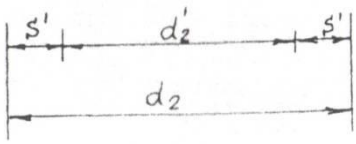
Определить исполнительный размер вара d_1 до нанесения слоя металла, если после нанесения электрогальваническим способом слоя S_j на сторону, вал должен иметь размер d.

Номер вар.	d	S	Номер вар.	d	S
4	75 d 10	$0^{+0.10}_{+0.08}$	59	130 d 11	$0^{+0.11}_{+0.07}$
9	65 f 9	$0^{+0.075}_{+0.060}$	64	125 c 11	$0^{+0.16}_{+0.12}$
14	182 d 11	$0^{+0.15}_{+0.12}$	69	100 *l* 12	$0^{+0.15}_{+0.10}$
19	120 *l* 11	$0^{+0.16}_{+0.12}$	74	72 d 11	$0^{+0.08}_{+0.05}$
24	95 d 10	$0^{+0.06}_{+0.04}$	79	76 *l* 11	$0^{+0.12}_{+0.09}$

Задача № 5

Определить размер диаметра $d`_2$ до покрытия защитным слоем, если при гальваническом покрытии наносится слой металла S на сторону и после покрытия резьба должна иметь d_2





Номер вар.	Резьба после металлизации	S	Номер вар.	Резьба после металлизации	S
5	М20х1,5-6g	$0^{+0.05}_{+0.02}$	60	М36х2-8g	$0^{+0.10}_{+0.06}$
10	М16х1,5-8g	$0^{+0.07}_{+0.03}$	65	М36-8g	$0^{+0.12}_{+0.07}$
15	М12-8g	$0^{+0.06}_{+0.03}$	70	М27х1,5-6d	$0^{+0.08}_{+0.04}$
20	М10-8g	$0^{+0.08}_{+0.05}$	75	27х1,5-8g	$0^{+0.12}_{+0.08}$
25	М16х1,5-6g	$0^{+0.07}_{+0.05}$	80	М18х1,5-6а	$0^{+0.08}_{+0.05}$



Министерство образования и науки РФ
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Н.А.НОВИКОВА

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

Учебное пособие
по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности – 21.05.04«Горное дело», направления 15.02.01 «Машиностроение» ,15.03.02. «Технологические машины и оборудование» ***заочного обучения***

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
Председатель комиссии

проф. В. П. Барановский

Н.А.Новикова

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

Учебное пособие
по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности – 21.05.04«Горное дело», направления 15.02.01 «Машиностроение» ,15.03.02. «Технологические машины и оборудование» ***заочного обучения***

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….4
1. Основные понятия и определения в области взаимозаменяемости…….... 5
2. Понятие о размерах допусках и посадках……...7
3. Единая система допусков и посадок……..14
3.1.Закономерности построения допусков……...15
3.2 Системы допусков и посадок……...18
3.3. Ряды основных отклонений…….22
3.4. Поля допусков……...24
3.5.Образование посадок……25
3.6. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах…….26
Контрольная работа…….28
Приложение №1……
Приложение №2……
Список литературы…….

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» является одной из важнейших инженерных дисциплин, так как неразрывно связана с главной задачей современного машиностроения – обеспечение высокого качества выпускаемой продукции. Качество изделий машиностроения, как и любого другого вида продукции, является физической категорией, зависящей от множества конструкторских, технологических и организационно-технологических факторов, проявляющихся на этапах жизненного цикла изделия. Установлено, что до 90% эксплуатационных свойств деталей изделий машиностроения может быть достигнуто за счет соответствующего нормирования точностей геометрических параметров элементов деталей и их поверхностей. К таким эксплуатационным свойствам следует отнести взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц, износостойкость трущихся поверхностей, долговечность, герметичность и прочность соединений и др.

Знания , умения и навыки, полученные в результате изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» помогут студентам пользоваться государственными стандартами при нормировании точности геометрических параметров гладких цилиндрических и типовых деталей и сборочных единиц, обозначать их на рабочих чертежах.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Взаимозаменяемость – свойство независимо изготовленных деталей и сборочных единиц занимать свое место в изделии без дополнительной механической или ручной обработки при сборке, обеспечивая при этом нормальную работу собираемых узлов, механизмов, машин. Взаимозаменяемость не обеспечивается только точностью геометрических параметров, Взаимозаменяемыми должны быть форма, механические, электрические и другие количественные и качественные характеристики деталей и сборочных единиц. Такая взаимозаменяемость называется полной. Полную взаимозаменяемость экономически целесообразно применять для деталей, изготовленных с допусками не точнее 6-го квалитета.

При полной взаимозаменяемости:

- упрощается процесс сборки – он сводится к простому соединению деталей рабочими преимущественно невысокой квалификации;

- появляется возможность точно нормировать процесс сборки во времени, устанавливать необходимый темп работы и применять поточный метод;

- создаются условия для автоматизации процессов изготовления и сборки изделий;

-упрощается и удешевляется ремонт изделий, гак как любая изношенная или поломанная деталь или сборочная единица может

быть заменена новой (запасной).

Иногда для удовлетворения эксплуатационных требований необходимо изготовлять детали и сборочные единицы с малыми экономически неприемлемыми или технологически трудно выполнимыми допусками. В этих случаях для получения требуемой точности сборки применяют групповой подбор деталей (селективную сборку), компенсаторы, регулирование положения некоторых частей машин и приборов, пригонку и другие дополнительные технологические мероприятия при обязательном выполнении требовании к качеству сборочных единиц и изделий. Такую взаимозаменяемость называют неполной (ограниченной). Ее можно осуществлять не по всем, а только по отдельным геометрическим или другим параметрам.

Внешняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие более сложные изделия) и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей. Например, в электродвигателях внешнюю взаимозаменяемость обеспечивают по частоте вращения вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей; в подшипниках качения — по наружному диаметру наружного кольца и внутреннему диаметру внутреннего кольца.

Внутренняя взаимозаменяемость распространяется на детали, сборочные единицы и механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипнике качения внутреннюю групповую взаимозаменяемость имеют тела качения и кольца.

2. ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРАХ, ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ

Под размером понимают числовое значение линейной или угловой величины в выбранных единицах измерения. Различают номинальный, действительный и предельные размеры.

Номинальный размер — это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений. Номинальный размер, общий для отверстия и вала, образующих соединение, называется номинальным размером соединения. Это основной размер, полученный на основе кинематических, динамических и прочностных расчетов или выбранный из конструктивных, технологических, эксплуатационных, эстетических и других соображений и указанный на чертеже. Полученный, таким образом номинальный размер должен быть округлен до ближайшего стандартного из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры».

Действительный — это размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Величина допускаемой погрешности измерения, по которой выбирается необходимое средство измерения, регламентируется ГОСТ 8.051-81 в зависимости от точности изготовления, заданной на чертеже.

Предельные размеры — это два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Больший из двух предельных размеров

называется *наибольшим предельным размером,* а меньший- *наименьшим предельным размером.*

Принято обозначать номинальный, действительный и предельные размеры для отверстий - D, D_r, D_{max}, D_{min};

для валов – d, d_r, d_{max}, d_{min}..

При выходе действительного размера за предельные – деталь считается бракованной.

Условие годности для отверстий: $D_{min} \le D_r \le D_{max}$;

для валов $d_{min} \le d_r \le d_{max}$.

Для упрощения простановки размеров на чертежах вместо предельных размеров проставляют предельные отклонения. Предельные отклонения подразделяют на верхнее и нижнее.

Верхнее — это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами, *нижнее отклонение* — это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

В ГОСТ 25346-89 приняты условные обозначения: верхнее отклонение отверстия —*ES,* вала — *es,* нижнее отклонение отверстия — *El,* вала — *ei.*

Согласно определениям:

Для отверстий

$$ES = D_{max} - D; \qquad El = D_{min} - D;$$

Для валов

$$es = d_{max.} - d\ ; \qquad ei = d_{min} - d\ ;$$

Предельные отклонения могут иметь положительные и отрицательные значения, или одно из них может быть равным нулю.

Допуск размера — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск обозначается IT или T_D – допуск отверстия и T_d – допуск вала.

Согласно определениям:

Допуск отверстия

$$T_D = D_{max} - D_{min}\ ;$$

Допуск вала

$$T_d = d_{max} - d_{min}\ .$$

Допуск размера всегда положительная величина.

Поле допуска - это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Для графического изображения полей допусков, позволяющего понять соотношения номинального и предельных размеров, предельных отклонений и допуска, введено понятие нулевой линии.

Нулевая линия — это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются предельные отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. При горизонтальном расположении нулевой линии положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные — вниз (рис. 2.1 и 2.2).

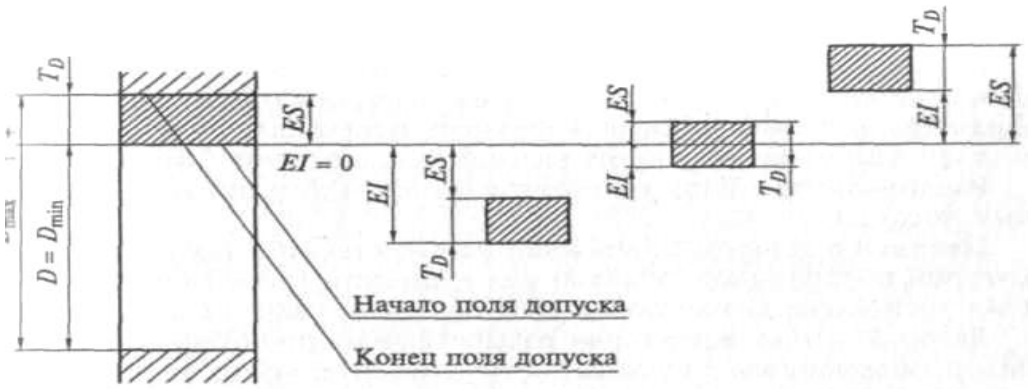


Рис.2.1 Схемы расположения полей допусков в системе отверстия

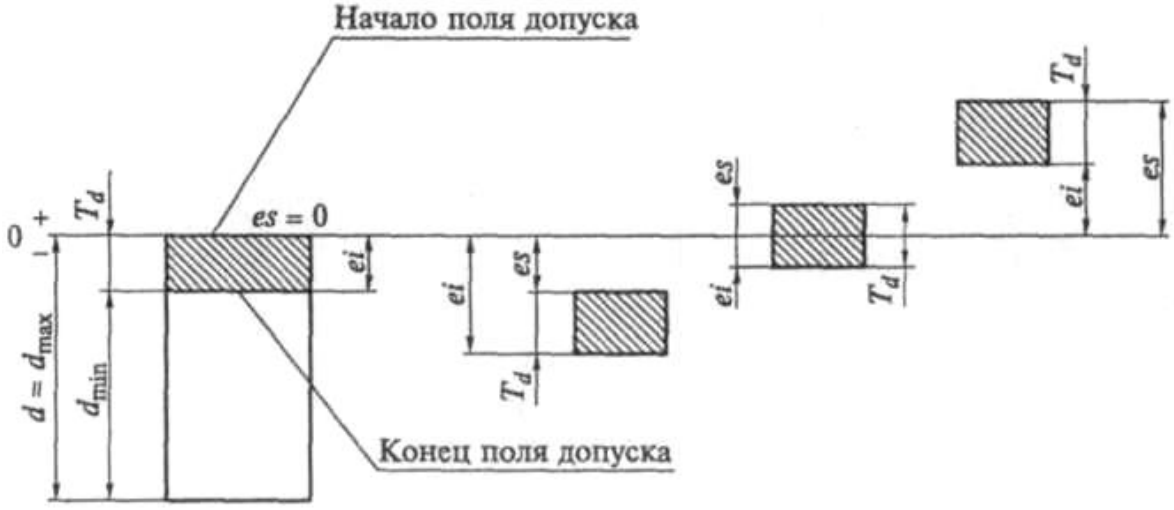


Рис.2.2 Схемы расположения полей допусков в системе вала

В машинах и механизмах детали не находятся обособленно друг от друга, они собираются в определенные узлы, комплекты, группы. Поверхности деталей, по которым

происходит сопряжение одной детали с другой называют сопрягаемыми поверхностями.

Остальные поверхности называются свободными. Поверхности могут быть как цилиндрическими (ось вагона, подшипник скольжения), так и плоскими (шпонка, шпоночный паз). В терминологии по допускам и посадкам: *вал* - все охватываемые наружные поверхности, о*тверстие* - внутренние охватывающие поверхности.

Посадкой – называется характер соединения деталей, определяемый разностью действительных размеров вала и отверстия. Различают три вида посадок: с зазором, с натягом и переходные посадки.

Посадкой с зазором называют такое соединение, у которого действительный размер отверстия больше действительного размера вала. Поле допуска отверстия располагается над полем допуска вала. (рис. 2.3). Основными характеристиками посадки с зазором являются:

Наименьший зазор $S_{min} = D_{min} - d_{max}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

средний зазор $S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$;

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск зазора (допуск посадки с зазором) $T_s = S_{max} - S_{min} =$

$= T_D + T_d$

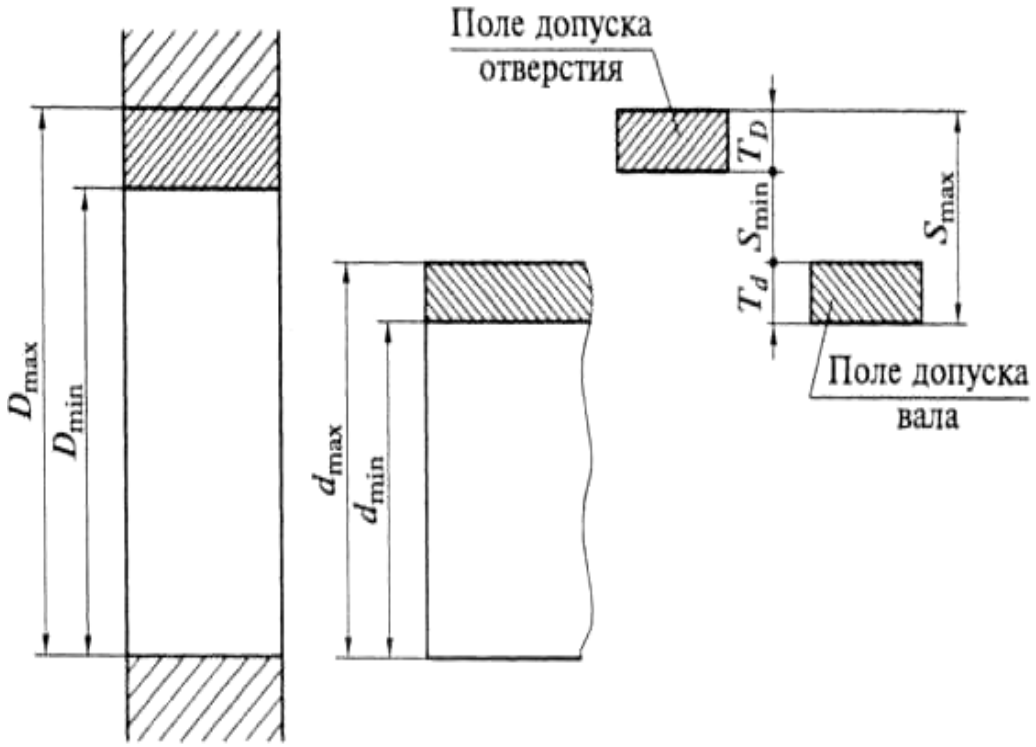


Рис.2.3 Схемы расположения полей допусков при посадках с зазором

посадкой с натягом называется посадка, у которой при любых условиях сборки, действительный размер вала больше действительного размера отверстия (поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия) (рис. 2.4). Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. Основными характеристиками посадки с натягом являются:

наименьший натяг $N_{min} = d_{min} - D_{max}$;

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

средний натяг $N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

допуск натяга (допуск посадки с натягом) $T_N = N_{max} - N_{min} = T_D + T_d$.

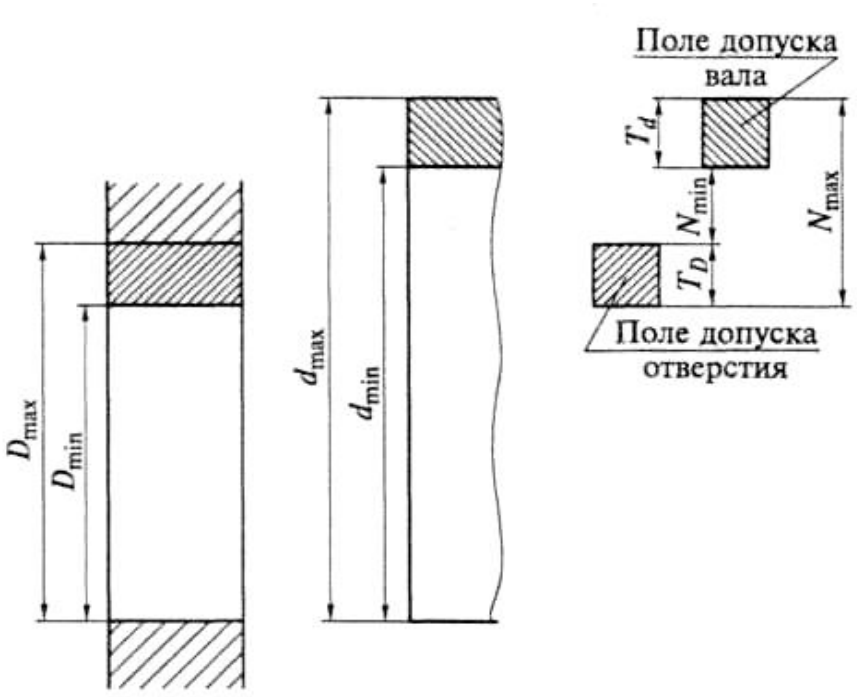


Рис.2.4 Схемы расположения полей допусков при посадках с натягом

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга (поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью) (рис.2.5). Переходные посадки используются для неподвижных соединений, когда при эксплуатация необходима частая разборка и сборка, а также когда к центрированию деталей предъявляются повышенные требования.

Основными характеристиками переходных посадок являются:

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск посадки $T_{N(S)} = N_{max} + S_{max} = T_D + T_d$.

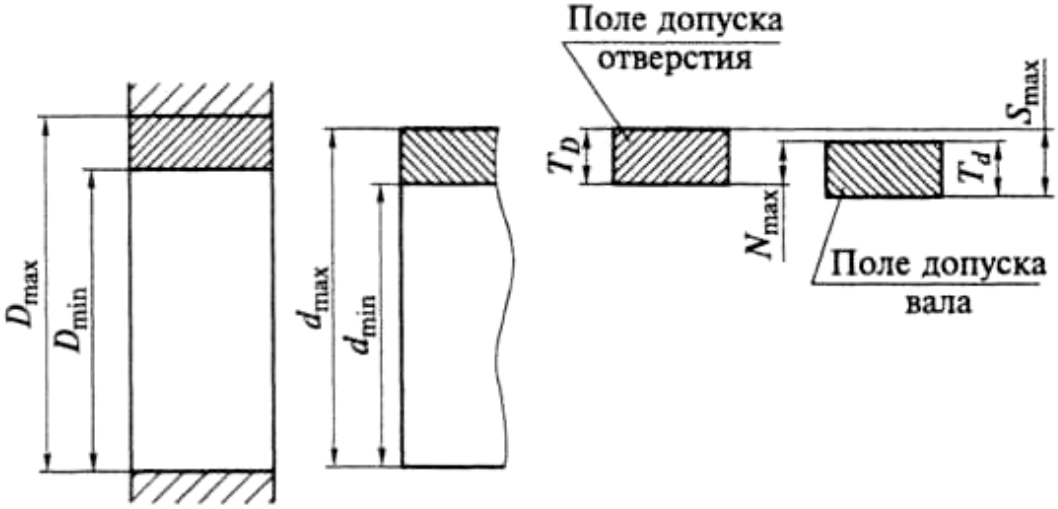


Рис.2.5 Схемы расположения полей допусков при переходных посадках

3. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

Системой допусков и посадок называют совокупность допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и по-

садок типовых соединений деталей машин. Единая система допусков и посадок (ЕСДП) гладких соединений изложена в стандартах: ГОСТ 25346-89; ГОСТ 25347-82; Согласно стандартам в ЕСДП установлены допуски и посадки для размеров до 1 мм; свыше 1 мм до 500 мм; свыше 500 мм до 3150 мм. Детали, размеры которых входят в каждый из этих диапазонов, имеют свои особенности при проектировании, обработке и контроле. Так, размеры диапазона свыше 0 до 1 мм наиболее часто реализуются в микроэлектронике с использованием нанотехнологий, размеры свыше 1 до 500 мм – в машиностроении, а размеры свыше 500 мм – в станкостроении, тяжелом машиностроении. Рассмотрим построение системы допусков и посадок для размеров от 1 до 500 мм.

3.1 Закономерности построения допусков

Основная закономерность построения допусков размеров *IT*, имеет вид

$$IT\,(T) = a\,i \qquad (1.1)$$

Где a – число единиц допуска; i- единица допуска, мкм

Единица допуска функционально связана с номинальным размером и является масштабом для измерения допуска в закономерности (1.1).

На основании исследований точности механической обработки установлены следующие зависимости единиц допуска для размеров до 500 мм

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001D, \qquad (1{,}2)$$

где i — единица допуска, мкм; D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала размеров, мм.

Каждый диапазон размеров разбивается на *интервалы* — основные и промежуточные. В пределах каждого интервала основные отклонения и допуски неизменны. Основные интервалы используются для определения всех допусков системы. В СДП для номинальных размеров от 1 до 500 мм предусмотрено 13 основных интервалов размеров. Для полей допусков, образующих посадки с большими величинами зазоров или натягов, введены дополнительные промежуточные интервалы, что позволяет уменьшить колебание зазоров и натягов и делает посадки более определенными.

Интервалы подразделяются на основные и промежуточные. Диапазон размеров до 500 мм разбит на 13 основных интервалов:

свыше1 до З мм;
свыше З до б мм;
свыше б до10 мм;
свыше 10 до 18 мм;
свыше 18 до 30 мм;
свыше 30 до 50 мм;
свыше 50 до 80 мм;
свыше 80 до 120 мм;
свыше 120 до 180 мм;
свыше 180 до 250 мм;
свыше 250 до 315 мм;
свыше 315 до 400 мм;
свыше 400 до 500мм.

Промежуточные интервалы введены для номинальных размеров свыше 10 мм и делят каждый основной интервал на две, а в некоторых случаях – на три части. В пределах каждого интервала по зависимости (1.2.) установлена единица допуска. Значения единицы допуска для каждого интервала приведены в табл.1.

Таблица 1

Единица допуска для размеров от 1 до 500 мм

Интервалы диаметров	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500
Единица допуска ι, мкм	0,54	0,73	0,90	1.09	1,30	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3.23	3,54	3,89

Детали разного назначения в различных машинах и механизмах должны быть изготовлены с различной точностью. Нормирование требуемых уровней точности осуществляется с помощью квалитетов. Под ***квалитетом*** понимается совокупность допусков, изменяющихся в зависимости от номинального размера так, что уровень точности для всех номинальных размеров остается одинаковым. Допуск, характеризующий точность, в пределах одного квалитета зависит только от номинального размера, входящего в единицу допуска *i.*

В ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов, которые обозначаются арабскими цифрами (01; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; …;18). С увеличением номера квалитета точность понижается (допуск увеличивается).

Самые точные квалитеты (01, 0, 1, 2, 3, 4), как правило, применяются при изготовлении образцовых мер и калибров.

Квалитеты с 5-го по 12-й, как правило, применяются для сопрягаемых элементов деталей при образовании посадок.

Квалитеты с 12-го по 18-й применяют для несопрягаемых элементов деталей.

Допуск по квалитету обозначается буквами *IT* с указанием номера квалитета, например *IT*8 - допуск по 8 квалитету.

Квалитеты отличаются друг от друга коэффициентом точности *a* (количеством единиц допуска) В табл. 2 приведено количество единиц допуска для каждого квалитета, начиная с 5 по 18.

Таблица 2

Число единиц допуска

квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
«*a*»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

3.2 Системы допусков и посадок

Стандарты предусматривают две равноправные системы посадок: систему отверстия и систему вала.

Система отверстия – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения отверстия остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров вала (рис.3.1). В системе отверстия основной деталью является *основное отверстие*, которого нижнее отклонение $EI=0$, а верхнее $ES = + T_D$.

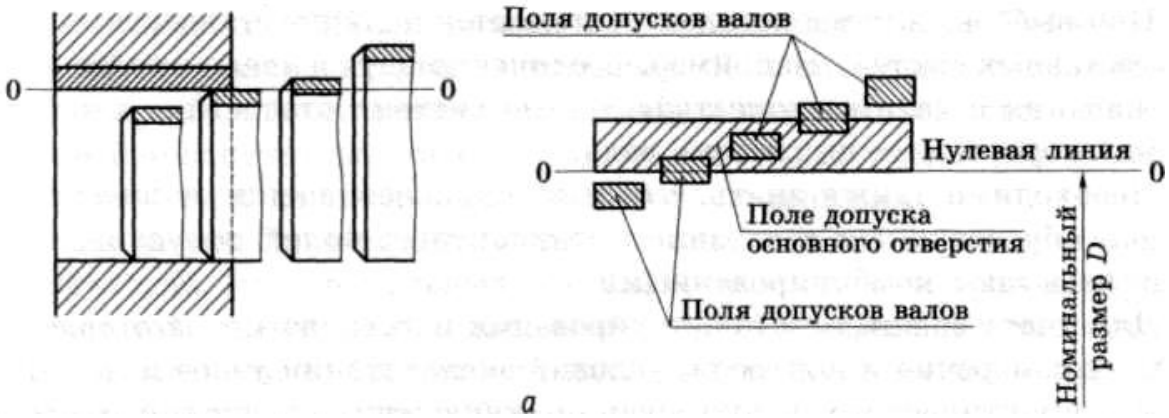


Рис.3.1 Посадки в системе отверстия

Система вала – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения вала остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров отверстия (рис.3.2). В системе вала основной деталью является *основной вал* у которого верхнее отклонение $es=0$, а нижнее $ei = - T_d$.

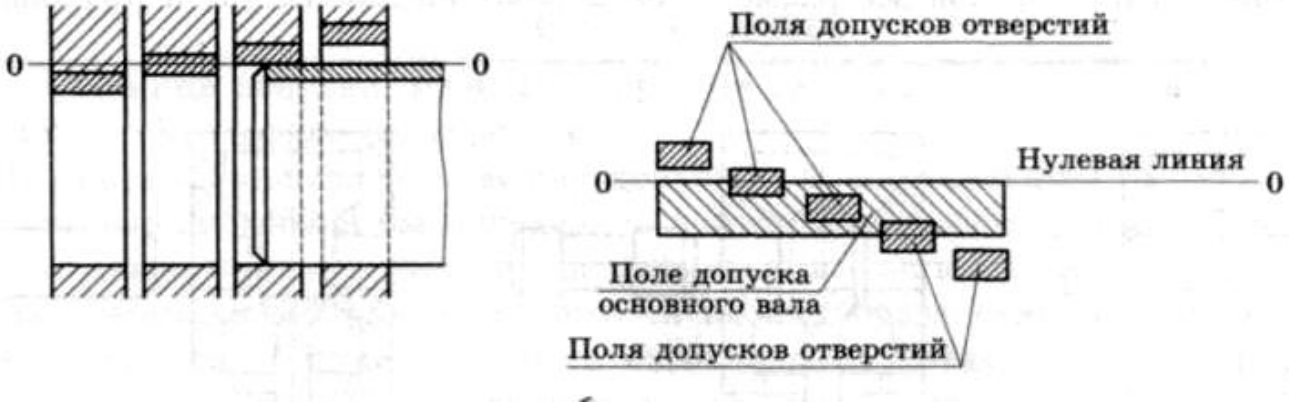
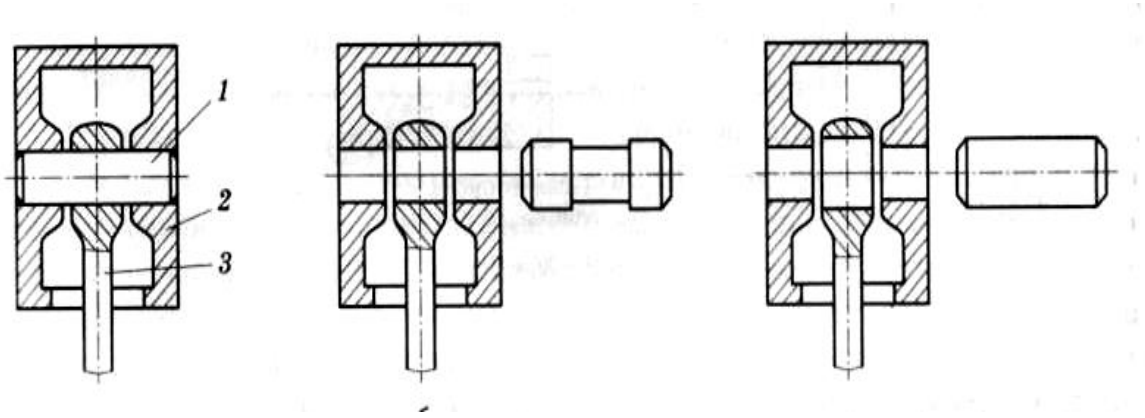


Рис.3.2. посадки в системе вала

Выбор системы посадки (отверстия или вала) определяют исходя из конструктивных, технологических и экономических соображений.

Предпочтительной является система отверстия. Это связано с тем, что отверстия обрабатываются дорогостоящим режущим инструментом (сверлом, протяжкой, зенкером, разверткой и т.п.), предназначенным для обработки только одного размера с определенным полем допуска. Вал, независимо от размера, в большинстве своем обрабатывается одним и тем же инструментом (резцом, шлифовальным кругом). Таким образом, количество типоразмеров инструмента для обработки отверстий будет значительно меньше при назначении посадки в системе отверстия. Система вала применяется в следующих случаях:

- когда на одном валу необходимо чередовать соединения нескольких отверстий одного номинального размера с различными посадками. На рис. 3.3, *а* представлено соединение поршневого пальца *1* с поршнем *2* и шатуном *3*. Для нормальной работы этого узла соединение поршня и пальца должно быть выполнено по неподвижной посадке, а шатуна с пальцем — по подвижной посадке. Назначение посадок в системе отверстия (рис. 3.3, *б)* привело бы к неудобствам при обработке ступенчатого пальца и, главное, к порче отверстия шатуна при сборке. При назначении посадок в системе вала (рис. 3.3, *в*) эти недостатки исключаются.



а *б* *в*

Рис.3.3 Соединение поршневого пальца с поршнем и шатуном двигателя автомобиля;

а – общий вид соединения: 1 – поршневой палец; 2- поршень; 3- шатун; *б*- соединение в системе отверстия*; в*- соединение в системе вала

- система вала также применяется в случаях, когда детали типа валиков или осей изготавливаются из калиброванных холоднотянутых прутков, дополнительная механическая обработка которых не предусматривается.

- и, наконец, посадка в системе вала назначается в случаях, когда вал является стандартной деталью или сборочной единицей (штифт, шплинт, шпонка, наружное кольцо подшипника и т.п.).

Необходимо также отметить, что возможно назначение и внесистемных посадок, образованных сочетанием стандартных полей допусков, которые иногда называют комбинированными.

3.3 Ряды основных отклонений

Основное отклонение- это одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), по величине и знаку которого определяется положение поля допуска относительно нулевой линии.

По ЕСДП таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Стандарт предусматривает 28 рядов основных отклонений для валов и столько же основных отклонений для отверстий. Отклонения валов обозначаются строчными буквами латинского алфавита от a до z , а отверстия прописными буквами от A до Z.

Схематично ряды основных отклонений показаны на рис.3.4 Каждому основному отклонению на схеме соответствуют горизонтальная черта, от которой начинается поле допуска. Штриховкой показано направление поля допуска, а второе отклонение зависит от того, по какому квалитету будет выполнено данное предельное отклонение.

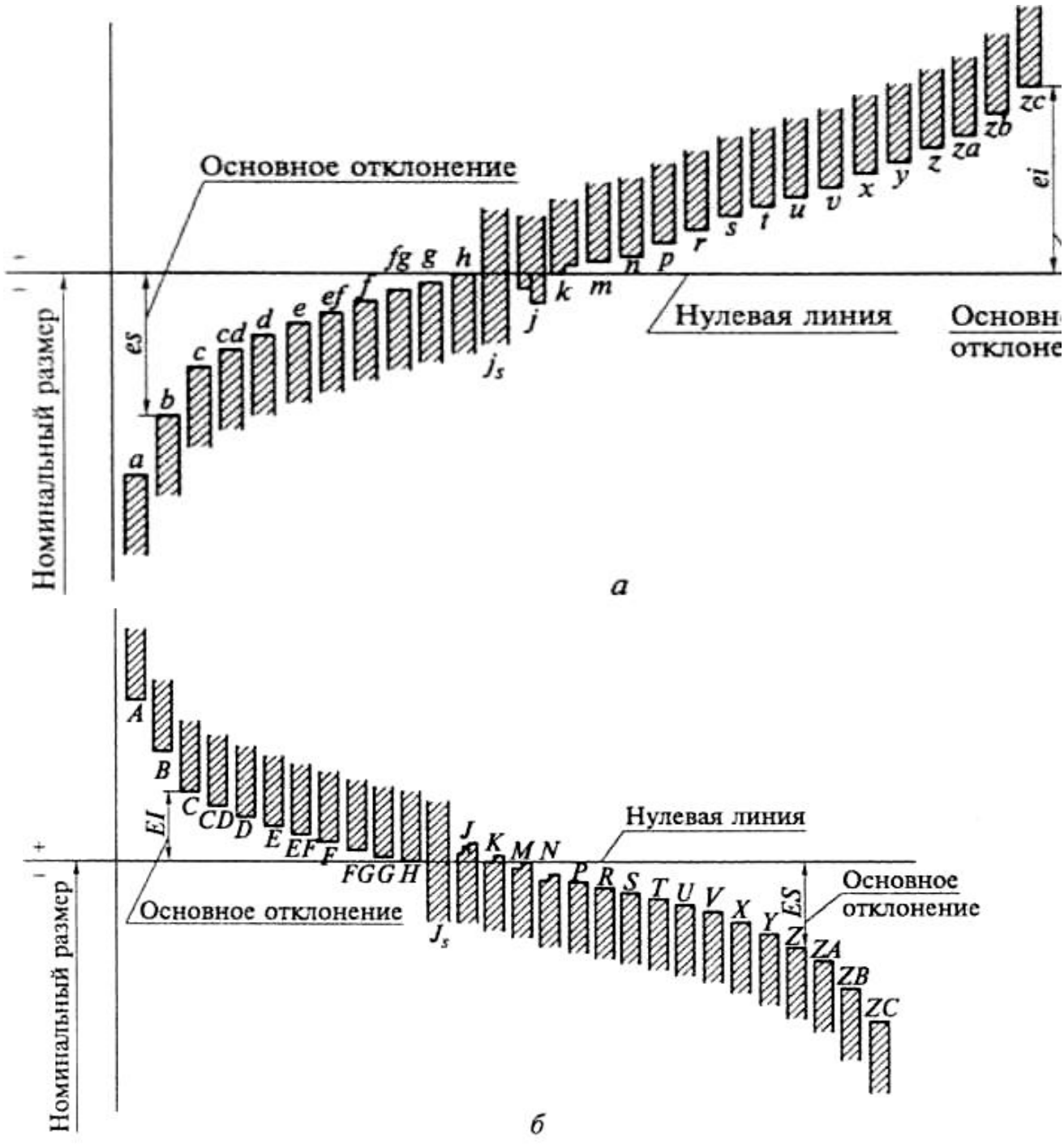


Рис.3.4. основные отклонения для валов (а), для отверстий (б)

3.4 Поля допусков

Поле допуска в ЕСДП образуется сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из квалитетов. В соответствии с этим поля допусков обозначаются буквой основного отклонения и номерами квалитетов, например

для валов $h6$, $d11$, $b12$, $s8$ и т.д.;

для отверстий $A11$, $H8$, $S7$ и т.д.

По основному отклонению и допуску вычисляют второе предельное отклонение, ограничивающее данное поле допуска.

Если основное отклонение - верхнее, то нижнее отклонение определяют по зависимости:

для вала $ei = es - IT$;

для отверстия $El = ES - IT$.

Если основное отклонение – нижнее, то верхнее отклонение :

для вала $es = ei + IT$;

для отверстия $ES = El + El$.

В системе ЕСДП можно образовывать поля допусков для любого квалитета, что позволяет получить более 500 полей допусков для валов и столько же полей допусков для отверстий. Однако не все возможные поля допусков могут найти применение даже в перспективе, на которую ориентирован стандарт, так как одновременное применение на практике всех полей допусков неприемлемо по экономическим соображениям (затрудняет унификацию изделий, различных инструментов и калибров). В ЕСДП для диапазона размеров от 1 до 500 мм применяется отбор полей допусков, которые делятся на основные и дополнительные .

Основные поля допусков включают в себя предпочтительные (имеющие первоочередное применение) и рекомендуемые. Дополнительные поля допусков являются полями ограниченного применения и используются тогда, когда применение основных полей допусков не позволяет выполнить требования, предъявляемые к изделию.

3.5 Образование посадок

Посадки в системе ЕСДП образуются сочетанием полей допусков отверстия и вала.

Принципиально допускается любое сочетание полей допусков отверстия и вала. Предпочтение следует отдавать посадкам, образованным в системе отверстия или в системе вала. ГОСТ 25347 -82 устанавливает ряд стандартных посадок в системе отверстия и в системе вала. В каждой системе выделяются предпочтительные посадки, выделенные рамочками. Рекомендуемые посадки приведены в Приложении 1 к ГОСТ 25347-82.

Допускается применение комбинированных посадок, в которых отверстие и вал выполнены в разных системах. Например, посадка *F8/f7*.

Допуски и отклонения, установленные стандартами, относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре, которая во всех странах принята равной $+20\ ^0$ C .

3.6. Обозначение полей допусков, предельных отклонений и посадок на чертежах

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными (буквенными) обозначениями полей допусков или числовыми значениями предельных отклонений, а также буквенными обозначениями полей-допусков с одновременным указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (рис. 3.5, а и б).

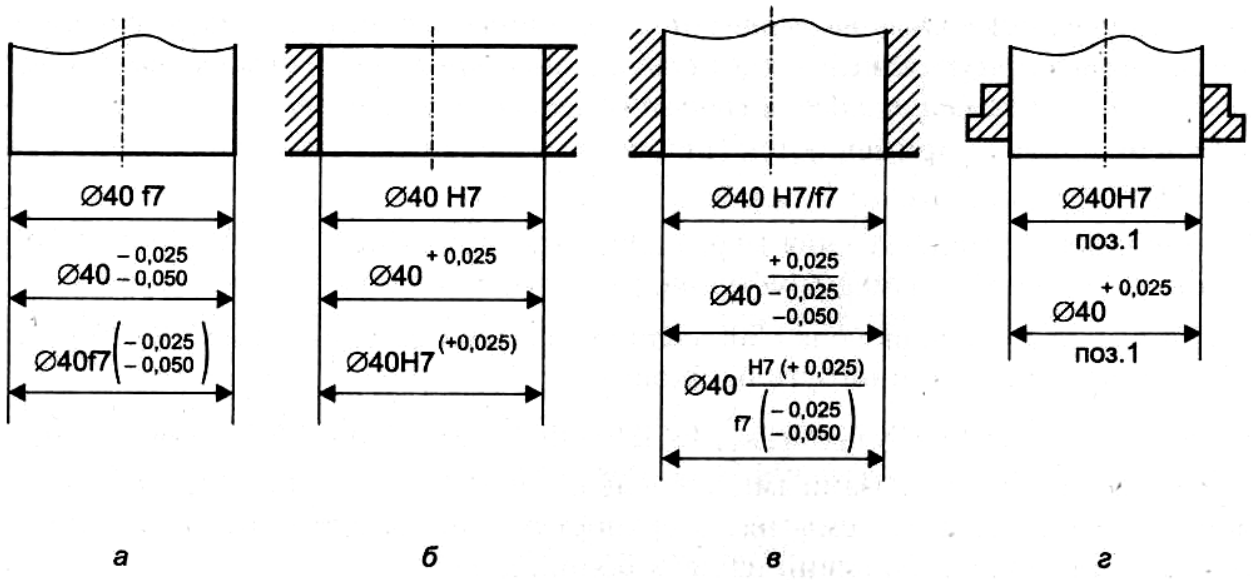


Рис.3.5. Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

На конструкторских и технологических чертежах номинальные и предельные размеры, а также их отклонения по ГОСТ 2.307-68 указываются в миллиметрах без обозначения единицы измерения (например, $50^{+0,025}$; $50_{-0,025}$; $85^{-0,013}_{-0,024}$). Угловые размеры и их предельные отклонения указываются в градусах,

минутах или секундах с указанием единицы измерения (например, 30°15'40").

При равенстве абсолютных значений отклонений они указываются один раз со знаком «±» рядом с номинальным размером (например,85±0,02). Отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляется. Наносят только одно отклонение — положительное на месте верхнего предельного отклонения, отрицательное — на месте нижнего предельного отклонения (например, $60_{-0,022}$; $89^{+0,02}$).

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью: в числителе — буквенное обозначение или числовые значения предельных отклонений отверстия либо буквенное обозначение с указанием справа в скобках их числовых значений, в знаменателе — аналогичное обозначение поля допуска вала (рис. 3.5, *в*). Иногда для обозначения посадки указывают предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей (рис 3.5,г).

Предельные отклонения могут назначаться для размеров, не указанных на чертеже детали, включая несопрягаемые и неответственные размеры. Например, в технических требованиях дается указание: «Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий H14, валов hl4, остальных $\pm\frac{IT14}{2}$» или «Неуказанные предельные отклонения размеров: диаметров H12, hl2, остальных $\pm\frac{IT14}{2}$».

В целях закрепления основных положений по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» студенты самостоятельно выполняют контрольную работу.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Работа заключается в анализе допусков и посадок гладких соединений. Анализируются все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета и заданного номинального размера и все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета и размера.

Работа выполняется на специальном бланке и подлежит защите. Бланк заполняется карандашом, с соблюдением требований ГОСТ 2.307-68.

Для выполнения данной контрольной работы студенту необходим для определения полей допусков ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75). (Приложение1 и 2)

1.Последовательность выполнения работы

1.1. Для выполнения работы студент получает бланк с заданием.

1.2. Из таблицы ГОСТ 25347-82 или по приложению 1 данного руководства выписать в графу 1 бланка работы все стандартные посадки, образующиеся с основным валом заданного квалитета, а

по таблице приложения 2 выписать все стандартные посадки, образующиеся с основным отверстием заданного квалитета.

1.3 Посадки записываются в соответствии с ГОСТ на условные обозначения полей допусков: предельные отклонения отверстия записываются в числителе, а вала – в знаменателе, например: $50\ \frac{H7}{e8}$ или 50 *H7/e8*. Где: 50 – номинальный размер соединения; *H7*- условное обозначение поля допуска отверстия; *e8*- поле допуска вала.

Аналогично по заданному квалитету и номинальному размеру выписываются все стандартные посадки в системе вала.

1.4. В графы 2 и 3 каждой системы посадки (система отверстия, система вала) заносятся числовые значения предельных отклонений для всех полей допусков.

Числовые значения предельных отклонений принимаются по ГОСТ25347-82 (СТ СЭВ 144-75). При отсутствии указанного стандарта предельные отклонения находят расчетным путем с помощью ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

1.5. В графы 4 и 5 каждой системы посадок записываются исполнительные размеры для отверстий и валов с указанием условного обозначения предельных отклонений, а в графы 6 и 7 – исполнительные размеры, но уже в числовых величинах предельных отклонений, мм.

1.6. Проводится математический анализ зазоров и натягов для каждого сопряжения в обеих системах. Величины зазоров и натягов по абсолютной величине, в мкм, заносятся в графы отчета 8, 9, 10 и 11 соответственно каждой системы посадок.

Предельные зазоры и натяги определяются:

посадки с зазором:

$$S_{max} = ES - ei\ , \qquad S_{min} = EI - es\ ;$$

посадки с натягом:

$$N_{max} = es - EI, \qquad N_{min} = ei - ES\ ;$$

переходные посадки:

$$S_{max} = ES - ei, \qquad N_{max} = es - EI,$$

где S_{max} и S_{min} - наибольший и наименьший зазор;

N_{max} и N_{min} - наибольший и наименьший натяг;

ES и *EI* - верхнее и нижнее отклонение отверстия;

es и *ei* - верхнее и нижнее отклонение вала.

1.7. Определяется для посадок в системе отверстия и в системе вала допуск посадки исходя из предельных зазоров или натягов.

Для посадок с зазором $T_n = S_{max} - S_{min} = IT_D + IT_d$;

Для посадок с натягом $T_n = N_{max} - N_{min} = IT_D + IT_d$;

Для переходных посадок $T_n = S_{max} + N_{max} = IT_D + IT_d$;

При этом IT_D – допуск отверстия,

IT_d – допуск вала.

Результаты расчета заносятся в графу 12 бланка отчета соответственно каждой посадке, мкм.

1.8. Строятся схемы полей допусков для всех посадок в системе отверстия и в системе вала. Для построения полей допусков следует принять определенный масштаб.

1.9. Для одной (любой) посадки в системе отверстия и для одной посадки в системе вала оформляются эскизы сопряжений.

При этом на эскизах сопряжений указать исполнительные размеры на двух размерных линиях: на одной указать номинальный размер и условное обозначение предельных отклонений, на второй - номинальный размер с числовыми предельными отклонениями.

Образец контрольной работы №1 приведен в таблице 1.1 и Рис.1.1, Рис.1.2.

Таблица 1.1

Дать анализ всех стандартных посадок в системе вала с валом h5 номинального размера 20 мм

Посад-ка	Отклоне-ние в мкм.		Наносимый размер на чертежах деталей (в мм)				Натяги в мкм		Зазоры в мкм		Допуск посадки в мкм
	Отв	Вал	Условно		С числовыми отклонениями		max	min	max	min	
	ES EJ	es ej	Отв	Вал	Отв.	Вал					
20F7/h5	+41 +20	0 -9	20F7	20h5	$20^{+0,041}_{+0,020}$	$20_{-0,009}$	-	-	50	20	30
20G6/h5	+20 +7		20G6		$20^{+0.020}_{+0,007}$		-	-	29	7	22
20H6/h5	+13 0		20H6		$20^{+0,013}$		-	-	22	0	22
20I_s6/h5	+6,5 - 6,5		20I_s6		$20\pm0,0065$		6,5	-	15,5	-	22

Схема полей допусков для размера 20 мм с полем допуска основного вала h5

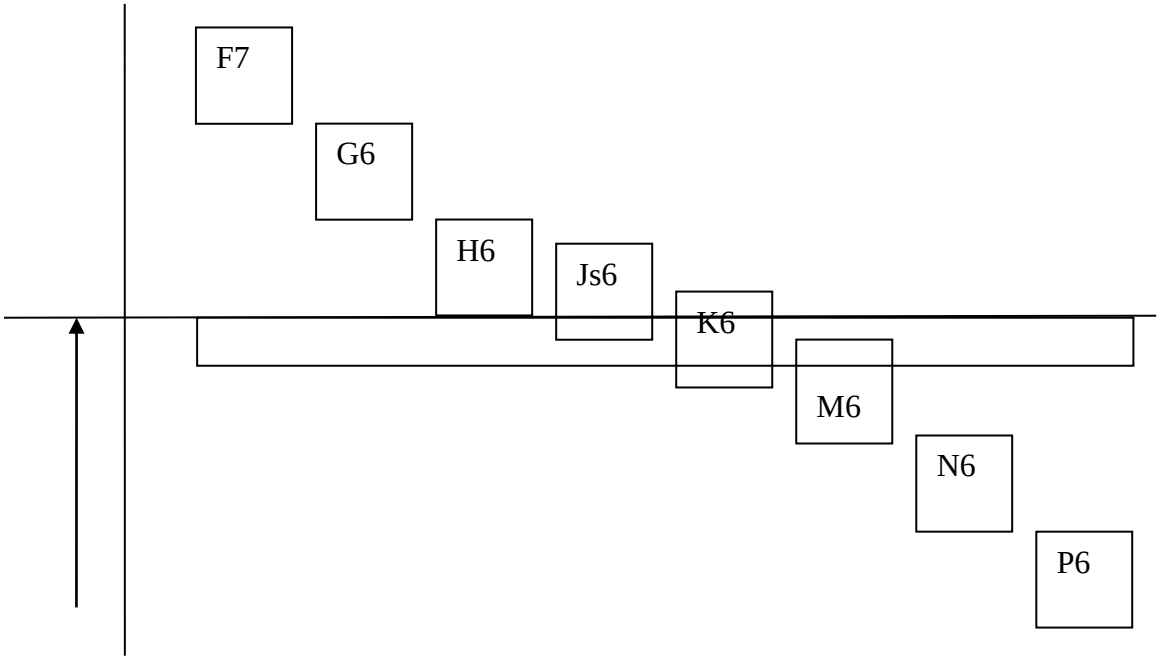


Рис 1.1 Эскизы деталей и сопряжения для посадки с полем допуска h5 в системе вала

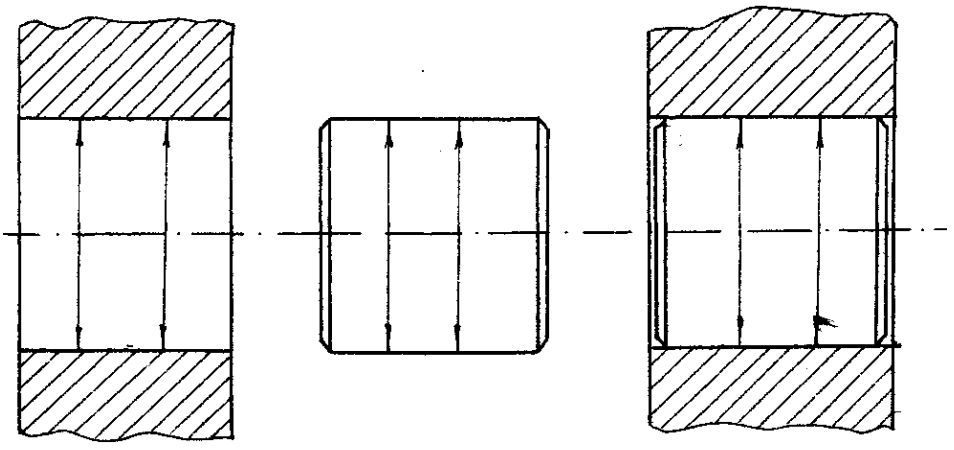


Рис.1.2.Схема обозначения посадок на чертежах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация.-Питер, 2010.-463 с.

Аристов А.И. Метрология, стандартизация т сертификация.-М.:Издательский цент «Академия»,2007. - 384 с.

ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75) Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки.

Н 73

Рецензент: *А. П. Комиссаров,* д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования «20» февраля 2013 г. (протокол № 4) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Н 73 Новикова Н. А.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ. Учебное пособие по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов специальности – 21.05.04«Горное дело», направления 15.02.01 «Машиностроение» ,15.03.02. «Технологические машины и оборудование» *заочного обучения* / Н.А. Новикова. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 45 с.

Учебное пособие по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» является общетеоретическим разделом курса «Метрология, стандартизация и сертификация» и содержит общие вопросы построения единой системы допусков и посадок. Также в пособии изложены методические указания, последовательность выполнения контрольной работы по анализу стандартных посадок в системе вала и отверстия, приведен образец выполнения работы.

© Новикова Н.А. 2016

© Уральский государственный горный университет, 2016

Учебное издание

Наталья Александровна Новикова

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ.

Учебное пособие
по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности – 21.05.04«Горное дело», направления 15.02.01 «Машиностроение» ,15.03.02. «Технологические машины и оборудование» ***заочного обучения***

Редактор В. В. Баклаева

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16. Гарнитура Times New Roman
Печать на ризографе
Печ. л. . Уч.– изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

НОВИКОВА Н.А

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

По курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления: 15.03.01 - «Машиностроение», 15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» 21.05.04 «Горное дело»

Екатеринбург
2019

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Допуски и посадки» является одной из важнейших дисциплин, так как неразрывно связана с главной задачей современного машиностроения – обеспечение высокого качества выпускаемой продукции. Качество изделий машиностроения, как и любого другого вида продукции, является физической категорией, зависящей от множества конструкторских, технологических и организационно-технологических факторов, проявляющихся на этапах жизненного цикла изделия. Установлено, что до 90% эксплуатационных свойств деталей изделий машиностроения может быть достигнуто за счет соответствующего нормирования точностей геометрических параметров элементов деталей и их поверхностей. К таким эксплуатационным свойствам следует отнести взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц, износостойкость трущихся поверхностей, долговечность, герметичность и прочность соединений и др.

Знания , умения и навыки, полученные в результате изучения дисциплины «Допуски и посадки» помогут студентам пользоваться государственными стандартами при нормировании точности геометрических параметров гладких цилиндрических и типовых деталей и сборочных единиц, обозначать их на рабочих чертежах.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Взаимозаменяемость – свойство независимо изготовленных деталей и сборочных единиц занимать свое место в изделии без дополнительной механической или ручной обработки при сборке, обеспечивая при этом нормальную работу собираемых узлов, механизмов, машин. Взаимозаменяемость не обеспечивается только точностью геометрических параметров, Взаимозаменяемыми должны быть форма, механические, электрические и другие количественные и качественные характеристики деталей и сборочных единиц. Такая взаимозаменяемость называется полной. Полную взаимозаменяемость экономически целесообразно применять для деталей, изготовленных с допусками не точнее 6-го квалитета.

При полной взаимозаменяемости:

- упрощается процесс сборки – он сводится к простому соединению деталей рабочими преимущественно невысокой квалификации;

- появляется возможность точно нормировать процесс сборки во времени, устанавливать необходимый темп работы и применять поточный метод;

- создаются условия для автоматизации процессов изготовления и сборки изделий;

-упрощается и удешевляется ремонт изделий, гак как любая изношенная или поломанная деталь или сборочная единица может

быть заменена новой (запасной).

Иногда для удовлетворения эксплуатационных требований необходимо изготовлять детали и сборочные единицы с малыми экономически неприемлемыми или технологически трудно выполнимыми допусками. В этих случаях для получения требуемой точности сборки применяют групповой подбор деталей (селективную сборку), компенсаторы, регулирование положения некоторых частей машин и приборов, пригонку и другие дополнительные технологические мероприятия при обязательном выполнении требовании к качеству сборочных единиц и изде ий. Такую взаимозаменяемость называют неполной (ограниченной). Ее можно осуществлять не по всем, а только по отдельным геометрическим или другим параметрам.

Внешняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие более сложные изделия) и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей. Например, в электродвигателях внешнюю взаимозаменяемость обеспечивают по частоте вращения вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей; в подшипниках качения — по наружному диаметру наружного кольца и внутреннему диаметру внутреннего кольца.

Внутренняя взаимозаменяемость распространяется на детали, сборочные единицы и механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипнике качения внутреннюю групповую взаимозаменяемость имеют тела качения и кольца.

2. ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРАХ, ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ

Под размером понимают числовое значение линейной или угловой величины в выбранных единицах измерения. Различают номинальный, действительный и предельные размеры.

Номинальный размер — это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений. Номинальный размер, общий для отверстия и вала, образующих соединение, называется номинальным размером соединения. Это основной размер, полученный на основе кинематических, динамических и прочностных расчетов или выбранный из конструктивных, технологических, эксплуатационных, эстетических и других соображений и указанный на чертеже. Полученный, таким образом номинальный размер должен быть округлен до ближайшего стандартного из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры».

Действительный — это размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Величина допускаемой погрешности измерения, по которой выбирается необходимое средство измерения, регламентируется ГОСТ 8.051-81 в зависимости от точности изготовления, заданной на чертеже.

Предельные размеры — это два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Больший из двух предельных размеров

называется *наибольшим предельным размером,* а меньший- *наименьшим предельным размером.*

Принято обозначать номинальный, действительный и предельные размеры для отверстий - D, D_r, D_{max}, D_{min};

для валов – d, d_r, d_{max}, d_{min}..

При выходе действительного размера за предельные – деталь считается бракованной.

Условие годности для отверстий: $D_{min} \le D_r \le D_{max}$;

для валов $d_{min} \le d_r \le d_{max}$.

Для упрощения простановки размеров на чертежах вместо предельных размеров проставляют предельные отклонения. Предельные отклонения подразделяют на верхнее и нижнее.

Верхнее — это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами, *нижнее отклонение* — это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

В ГОСТ 25346-89 приняты условные обозначения: верхнее отклонение отверстия —*ES,* вала — *es,* нижнее отклонение отверстия — *El,* вала — *ei.*

Согласно определениям:

Для отверстий

$$ES = D_{max} - D; \qquad El = D_{min} - D;$$

Для валов

$$es = d_{max.} - d\ ; \qquad ei = d_{min} - d\ ;$$

Предельные отклонения могут иметь положительные и отрицательные значения, или одно из них может быть равным нулю.

Допуск размера — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск обозначается IT или T_D – допуск отверстия и T_d – допуск вала.

Согласно определениям:

Допуск отверстия

$$T_D = D_{max} - D_{min}\ ;$$

Допуск вала

$$T_d = d_{max} - d_{min}\ .$$

Допуск размера всегда положительная величина.

Поле допуска - это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Для графического изображения полей допусков, позволяющего понять соотношения номинального и предельных размеров, предельных отклонений и допуска, введено понятие нулевой линии.

Нулевая линия — это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются предельные отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. При горизонтальном расположении нулевой линии положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные — вниз (рис. 2.1 и 2.2).

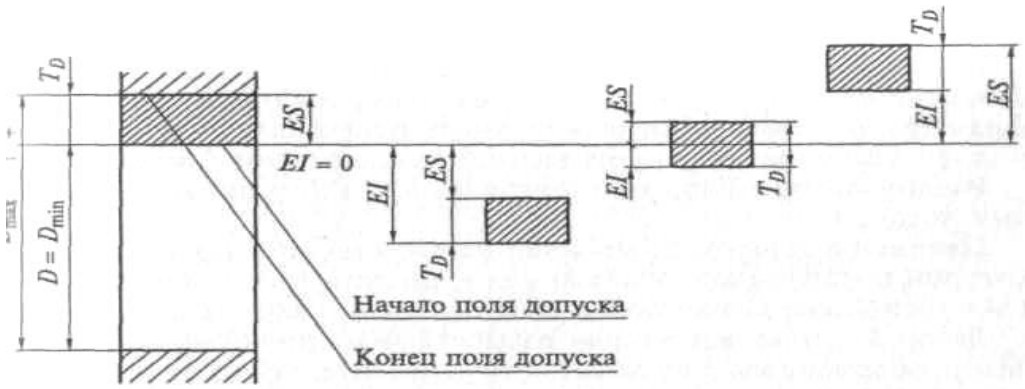


Рис. 1.4. Схема расположения полей допусков отверстий

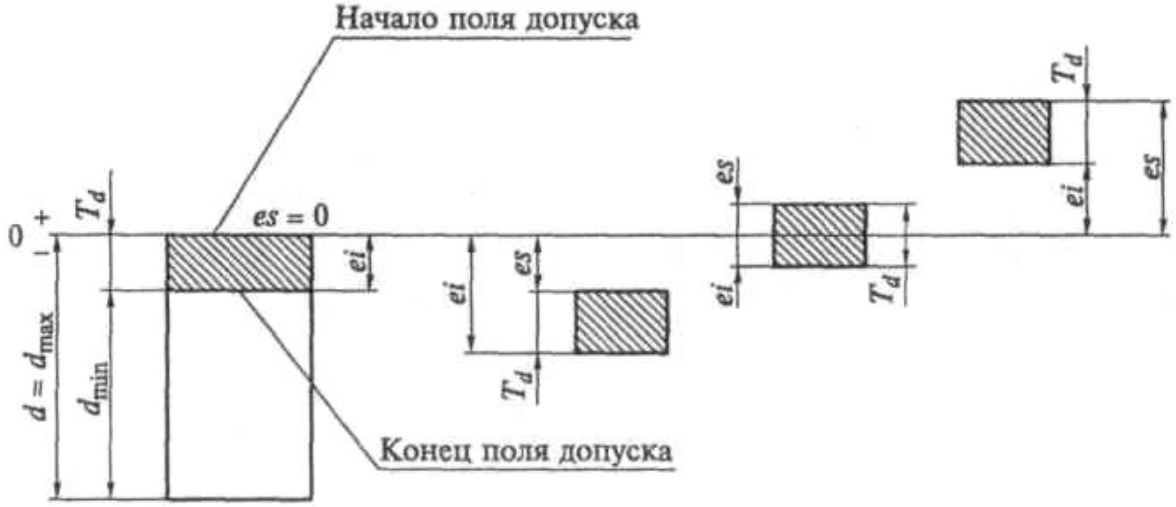


Рис. 1.5. Схема расположения полей допусков валов

В машинах и механизмах детали не находятся обособленно друг от друга, они собираются в определенные узлы, комплекты, группы. Поверхности деталей, по которым происходит сопряжение одной детали с другой называют сопрягаемыми поверхностями.

Остальные поверхности называются свободными. Поверхности могут быть как цилиндрическими (ось вагона, подшипник скольжения), так и плоскими (шпонка, шпоночный паз). В терминологии по допускам и посадкам: *вал* - все охватываемые наружные поверхности, о*тверстие* - внутренние охватывающие поверхности.

Посадкой – называется характер соединения деталей, определяемый разностью действительных размеров вала и отверстия. Различают три вида посадок: с зазором, с натягом и переходные посадки.

Посадкой с зазором называют такое соединение, у которого действительный размер отверстия больше действительного размера вала. Поле допуска отверстия располагается над полем допуска вала. (рис. 2.3). Основными характеристиками посадки с зазором являются:

Наименьший зазор $S_{min} = D_{min} - d_{max}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

средний зазор $S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$;

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск зазора (допуск посадки с зазором) $T_s = S_{max} - S_{min} = T_D + T_d$

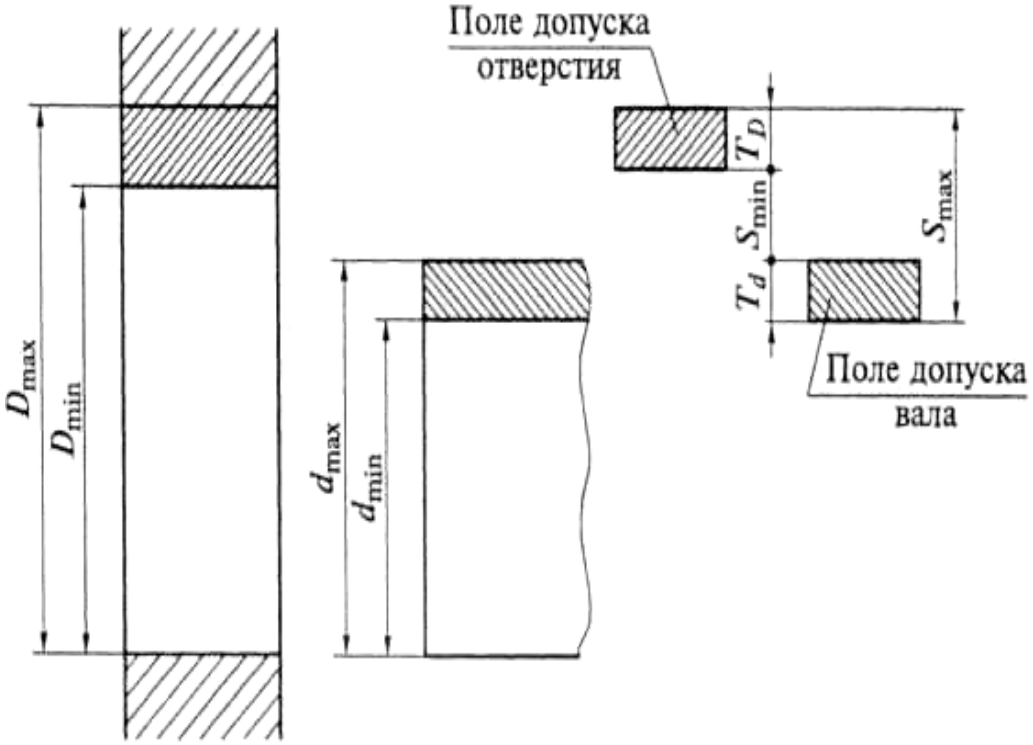


Рис.2.3 Схемы расположения полей допусков при посадках с зазором

посадкой с натягом называется посадка, у которой при любых условиях сборки, действительный размер вала больше действительного размера отверстия (поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия) (рис. 2.4). Натяг обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. Основными характеристиками посадки с натягом являются:

наименьший натяг $N_{min} = d_{min} - D_{max}$;

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

средний натяг $N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

допуск натяга (допуск посадки с натягом) $T_N = N_{max} - N_{min} = T_D + T_d$.

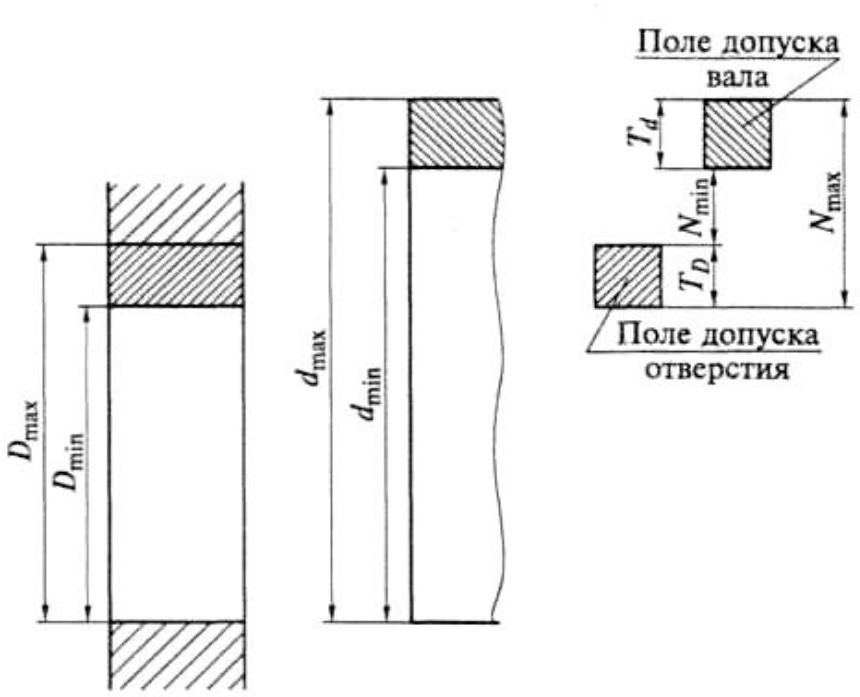


Рис.2.4 Схемы расположения полей допусков при посадках с натягом

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга (поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью) (рис.2.5). Переходные посадки используются для неподвижных соединений, когда при эксплуатация необходима частая разборка и сборка, а также когда к центрированию деталей предъявляются повышенные требования.

Основными характеристиками переходных посадок являются:

наибольший натяг $N_{max} = d_{max} - D_{min}$;

наибольший зазор $S_{max} = D_{max} - d_{min}$;

действительный натяг $N_д = d_d - D_д$

действительный зазор $S_д = D_д - d_d$;

допуск посадки $T_{N(S)} = N_{max} + S_{max} = T_D + T_d$.

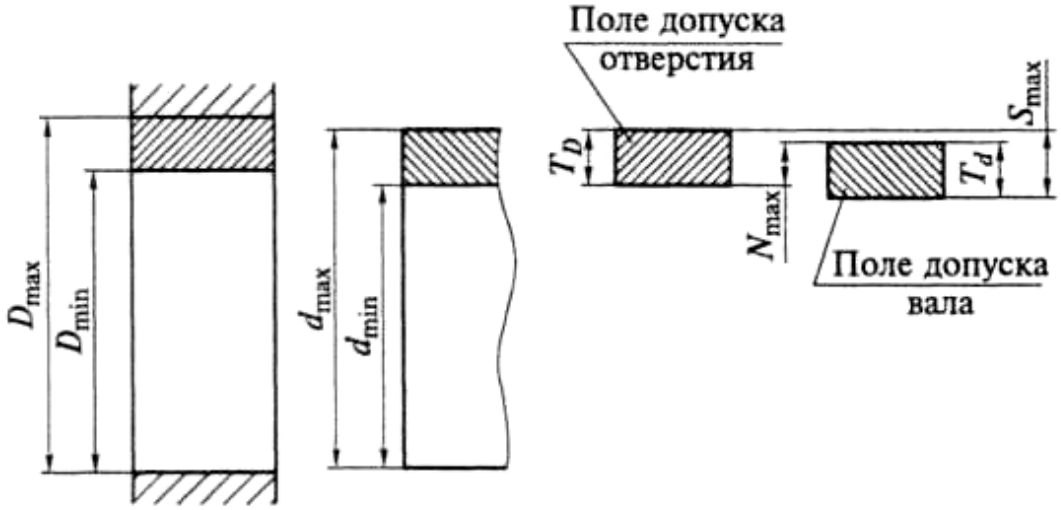


Рис.2.5 Схемы расположения полей допусков при переходных посадках

3. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

Системой допусков и посадок называют совокупность допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин. Единая система допусков и посадок (ЕСДП) гладких соединений изложена в стандартах: ГОСТ 25346-89; ГОСТ 25347-82; Согласно стандартам в ЕСДП установлены допуски и посадки для размеров до 1 мм;

свыше 1 мм до 500 мм; свыше 500 мм до 3150 мм. Детали, размеры которых входят в каждый из этих диапазонов, имеют свои особенности при проектировании, обработке и контроле. Так, размеры диапазона свыше 0 до 1 мм наиболее часто реализуются в микроэлектронике с использованием нанотехнологий, размеры свыше 1 до 500 мм – в машиностроении, а размеры свыше 500 мм – в станкостроении, тяжелом машиностроении. Рассмотрим построение системы допусков и посадок для размеров от 1 до 500 мм.

3.1 Закономерности построения допусков

Основная закономерность построения допусков размеров *IT*, имеет вид

$$IT\ (T) = a\ i \qquad (1.1)$$

Где a – число единиц допуска; i- единица допуска, мкм

Единица допуска функционально связана с номинальным размером и является масштабом для измерения допуска в закономерности (1.1).

На основании исследований точности механической обработки установлены следующие зависимости единиц допуска для размеров до 500 мм

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001D, \qquad (1{,}2)$$

где i — единица допуска, мкм; D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала размеров, мм.

Каждый диапазон размеров разбивается на *интервалы* — основные и промежуточные. В пределах каждого интервала

основные отклонения и допуски неизменны. Основные интервалы используются для определения всех допусков системы. В СДП для номинальных размеров от 1 до 500 мм предусмотрено 13 основных интервалов размеров. Для полей допусков, образующих посадки с большими величинами зазоров или натягов, введены дополнительные промежуточные интервалы, что позволяет уменьшить колебание зазоров и натягов и

Интервалы подразделяются на основные и промежуточные.

диапазон размеров до 500 мм разбит на 13 основных интервалов:

свыше1 до З мм;	свыше 30 до 50 мм;	свыше 250 до 315 мм;
свыше З до б мм;	свыше 50 до 80 мм;	свыше 315 до 400 мм;
свыше б до10 мм;	свыше 80 до 120 мм;	свыше 400 до 500мм.
свыше 10 до 18 мм;	свыше 120 до 180 мм;	
свыше 18 до 30 мм;	свыше 180 до 250 мм;	

Промежуточные интервалы введены для номинальных размеров свыше 10 мм и делят каждый основной интервал на две, а в некоторых случаях – на три части. В пределах каждого интервала по зависимости (1.2.) установлена единица допуска

Детали разного назначения в различных машинах и механизмах должны быть изготовлены с различной точностью. Нормирование требуемых уровней точности осуществляется с помощью квалитетов. Под ***квалитетом*** понимается совокупность допусков, изменяющихся в зависимости от номинального размера так, что уровень точности для всех номинальных размеров остается одинаковым. Допуск, характери-

зующий точность, в пределах одного квалитета зависит только от номинального размера, входящего в единицу допуска *i*.

В ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов, которые обозначаются арабскими цифрами (01; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; …;18). С увеличением номера квалитета точность понижается (допуск увеличивается).

Самые точные квалитеты (01, 0, 1, 2, 3, 4), как правило, применяются при изготовлении образцовых мер и калибров.

Квалитеты с 5-го по 12-й, как правило, применяются для сопрягаемых элементов деталей при образовании посадок.

Квалитеты с 12-го по 18-й применяют для несопрягаемых элементов деталей.

Допуск по квалитету обозначается буквами *IT* с указанием номера квалитета, например *IT*8 - допуск по 8 квалитету.

Квалитеты отличаются друг от друга коэффициентом точности *a* (количеством единиц допуска) В табл. 1 приведено количество единиц допуска для каждого квалитета, начиная с 5 по 18.

Таблица 1

Число единиц допуска

квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
«a»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

3.2 системы допусков и посадок

Стандарты предусматривают две равноправные системы посадок: систему отверстия и систему вала.

Система отверстия – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения отверстия остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров вала (рис.3.1). В системе отверстия основной деталью является *основное отверстие*, которого нижнее отклонение $El=0$, а верхнее $ES = + T_D$.

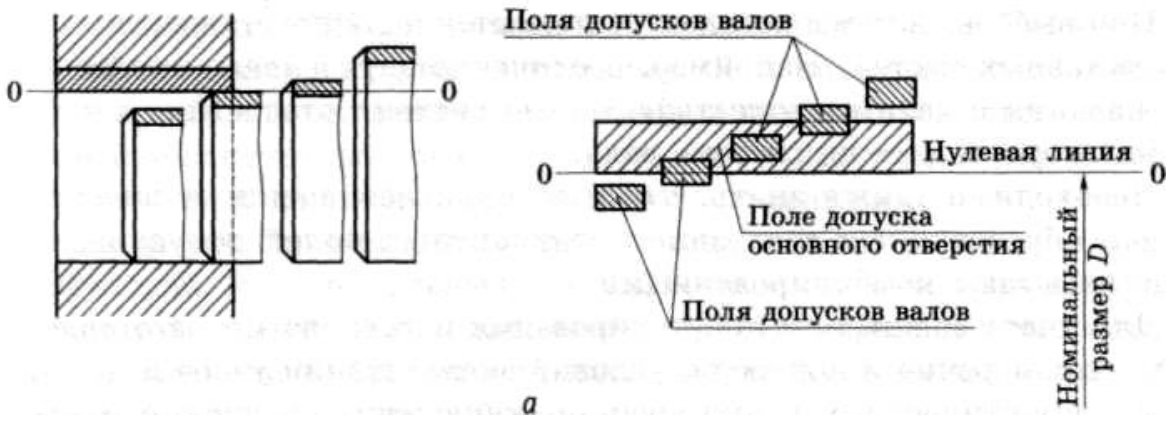


Рис.3.1 Посадки в системе отверстия

Система вала – система допусков и посадок, при которой для данного номинального размера и данного квалитета предельные отклонения вала остаются постоянными, а требуемые посадки достигаются за счет изменения предельных размеров отверстия (рис.3.2). В системе вала основной деталью является *основной вал* у которого верхнее отклонение $es=0$, а нижнее $ei = - T_d$.

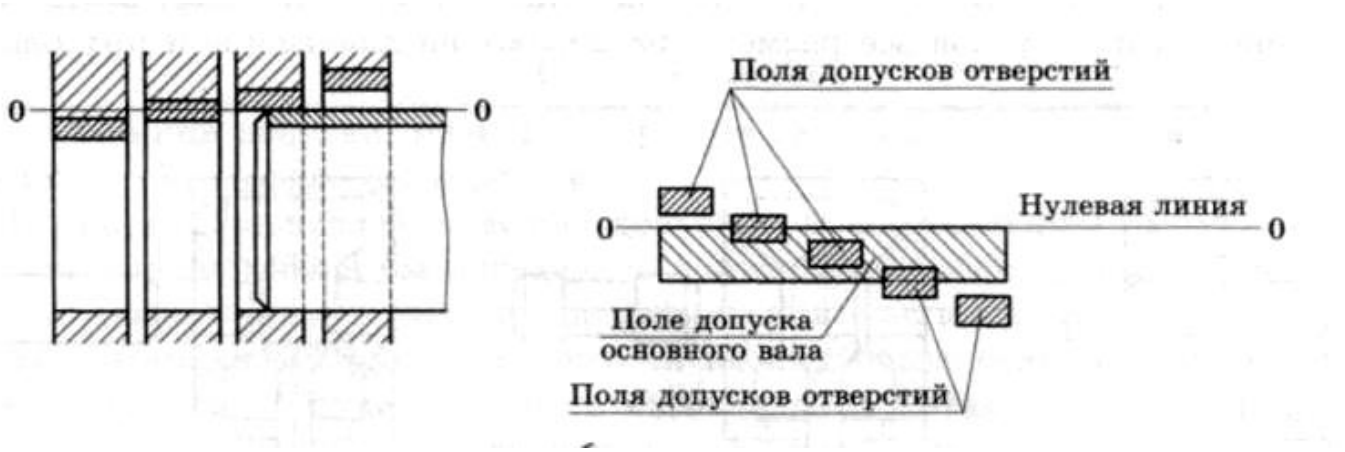


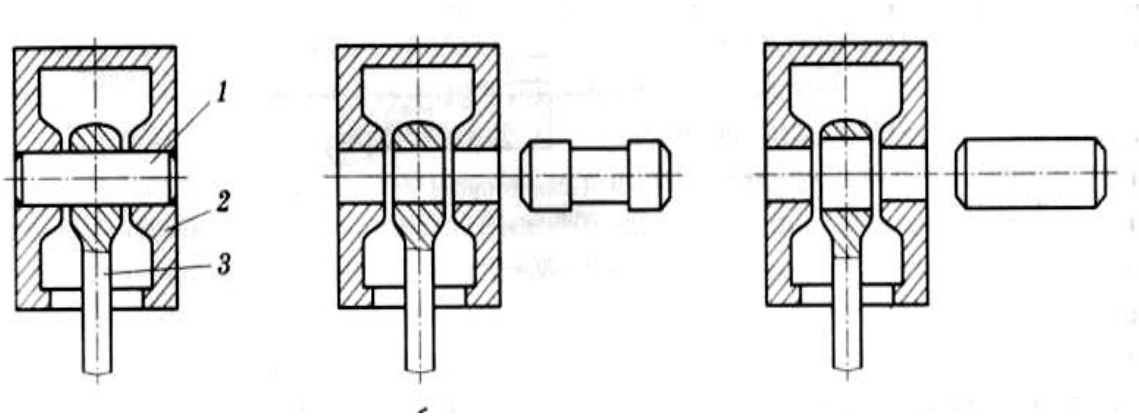
Рис.3.2. посадки в системе вала

Выбор системы посадки (отверстия или вала) определяют исходя из конструктивных, технологических и экономических соображений.

Предпочтительной является система отверстия. Это связано с тем, что отверстия обрабатываются дорогостоящим режущим инструментом (сверлом, протяжкой, зенкером, разверткой и т.п.), предназначенным для обработки только одного размера с определенным полем допуска. Вал, независимо от размера, в большинстве своем обрабатывается одним и тем же инструментом (резцом, шлифовальным кругом). Таким образом, количество типоразмеров инструмента для обработки отверстий будет значительно меньше при назначении посадки в системе отверстия. Система вала применяется в следующих случаях:

- когда на одном валу необходимо чередовать соединения нескольких отверстий одного номинального размера с различными посадками. На рис. 3.3, *а* представлено соединение поршневого пальца *1* с поршнем *2* и шатуном *3*. Для нормальной работы

этого узла соединение поршня и пальца должно быть выполнено по неподвижной посадке, а шатуна с пальцем — по подвижной посадке. Назначение посадок в системе отверстия (рис. 3.3, *б)* привело бы к неудобствам при обработке ступенчатого пальца и, главное, к порче отверстия шатуна при сборке. При назначении посадок в системе вала (рис. 3.3, *в*) эти недостатки исключаются.



а *б* *в*

Рис.3.3 Соединение поршневого пальца с поршнем и шатуном двигателя автомобиля;

а – общий вид соединения: 1 – поршневой палец; 2- поршень; 3- шатун; *б*- соединение в системе отверстия*; в*- соединение в системе вала

- система вала также применяется в случаях, когда детали типа валиков или осей изготавливаются из калиброванных холодно-тянутых прутков, дополнительная механическая обработка которых не предусматривается.

- и, наконец, посадка в системе вала назначается в случаях, когда вал является стандартной деталью или сборочной единицей (штифт, шплинт, шпонка, наружное кольцо подшипника и т.п.).

Необходимо также отметить, что возможно назначение и внесистемных посадок, образованных сочетанием стандартных полей допусков, которые иногда называют комбинированными.

3.3 Ряды основных отклонений

Основное отклонение- это одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), по величине и знаку которого определяется положение поля допуска относительно нулевой линии.

По ЕСДП таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Стандарт предусматривает 28 рядов основных отклонений для валов и столько же основных отклонений для отверстий. Отклонения валов обозначаются строчными буквами латинского алфавита от a до z , а отверстия прописными буквами от A до Z.

Схематично ряды основных отклонений показаны на рис.3.4 Каждому основному отклонению на схеме соответствуют горизонтальная черта, от которой начинается поле допуска. Штриховкой показано направление поля допуска, а второе отклонение зависит от того, по какому квалитету будет выполнено данное предельное отклонение.

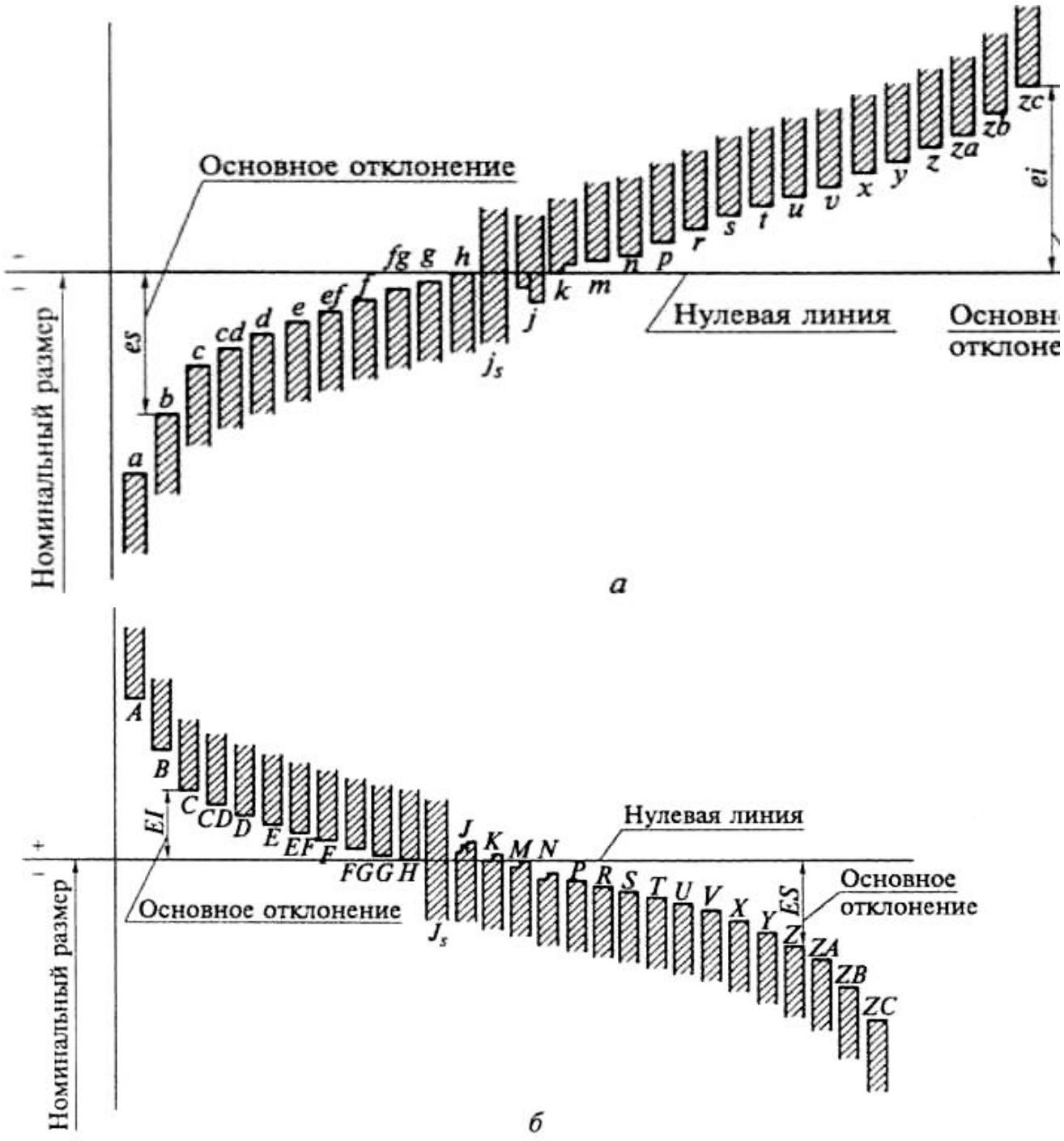


Рис.3.4. основные отклонения для валов (а), для отверстий (б)

3.4 Поля допусков

Поле допуска в ЕСДП образуется сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из квалитетов. В соответствии с этим поля допусков обозначаются буквой основного отклонения и номерами квалитетов, например

для валов $h6$, $d11$, $b12$, $s8$ и т.д.;

для отверстий $A11$, $H8$, $S7$ и т.д.

По основному отклонению и допуску вычисляют второе предельное отклонение, ограничивающее данное поле допуска.

Если основное отклонение - верхнее, то нижнее отклонение определяют по зависимости:

для вала $ei = es - IT$;

для отверстия $El = ES - IT$.

Если основное отклонение – нижнее, то верхнее отклонение :

для вала $es = ei + IT$;

для отверстия $ES = El + El$.

В системе ЕСДП можно образовывать поля допусков для любого квалитета, что позволяет получить более 500 полей допусков для валов и столько же полей допусков для отверстий. Однако не все возможные поля допусков могут найти применение даже в перспективе, на которую ориентирован стандарт, так как одновременное применение на практике всех полей допусков неприемлемо по экономическим соображениям (затрудняет унификацию изделий, различных инструментов и калибров). В ЕСДП для диапазона размеров от 1 до 500 мм применяется отбор полей допусков, которые делятся на основные и дополнительные .

Основные поля допусков включают в себя предпочтительные (имеющие первоочередное применение) и рекомендуемые. Дополнительные поля допусков являются полями ограниченного применения и используются тогда, когда применение основных полей допусков не позволяет выполнить требования, предъявляемые к изделию.

3.5 Образование посадок

Посадки в системе ЕСДП образуются сочетанием полей допусков отверстия и вала.

Принципиально допускается любое сочетание полей допусков отверстия и вала. Предпочтение следует отдавать посадкам, образованным в системе отверстия или в системе вала. ГОСТ 25347 -82 устанавливает ряд стандартных посадок в системе отверстия и в системе вала. В каждой системе выделяются предпочтительные посадки, выделенные рамочками.

Минобрнауки Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

Е. Б. Волков, Ю. М. Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие
для самостоятельной работы студентов,
выполнению практических и контрольных работ

Екатеринбург
2019

Минобрнауки Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ:
проректор по УМК

_____доц. С. А. Упоров

«___»_____2019 г.

Е. Б. Волков, Ю. М. Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие
для самостоятельной работы студентов,
выполнению практических и контрольных работ

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

В 67

Рецензент: *Н. М. Суслов*, д-р техн. наук, заведующий кафедрой ГМК
Уральского государственного горного университета

Учебно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры технической механики от 19.12.2016 г. (протокол № 2) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета.

Волков Е. Б., Казаков Ю. М.

В67 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА: Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов, выполнению практических и контрольных работ / Е. Б. Волков, Ю. М. Казаков, Уральский государственный горный университет. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. 156 с.

Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов содержит краткие методические указания, контрольные задания и примеры выполнения заданий по темам: «Статика твердого тела. Равновесие произвольной плоской и пространственной систем сил», «Кинематика вращательного и плоскопараллельного движений твердого тела. Определение скоростей и ускорений точек твёрдого тела», «Сложное движение точки», «Динамика точки. Дифференциальные уравнения движения точки. Гармонические и вынужденные колебания точки. Применение теоремы об изменении кинетической энергии при исследовании движения точки», «Применение общих теорем динамики к исследованию движения механической системы», «Принципы механики. Применение общего уравнения динамики к исследованию движения механической системы», «Уравнения Лагранжа II рода».

Учебно-методическое пособие для студентов всех специальностей очной формы обучения.

© Волков Е. Б., Казаков Ю. М., 2019
©Уральский государственный горный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СТАТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА 4
1.1. Основные виды связей и их реакции 4
1.2. Моменты силы относительно центра и относительно оси. Пара сил. Момент пары 5
1.3. Условия равновесия систем сил 7
1.4. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел 8
1.5. Задание С2. Равновесие пространственной системы сил 17
2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА 26
2.1. Кинематика точки. Основные параметры движения точки 26
2.2. Вращение тела вокруг неподвижной оси 28
2.3. Плоскопараллельное движение твёрдого тела 29
2.4. Задание К1. Определение скоростей и ускорений точек твердого тела при поступательном и вращательном движениях 32
2.5. Задание К2. Определение скоростей точек твёрдого тела при плоскопараллельном движении 38
2.6. Задание К3. Определение ускорений точек твёрдого тела при плоскопараллельном движении 46
3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ 57
3.1. Основные понятия сложного движения точки 57
3.2. Задание К4. Определение скорости и ускорения точки при сложном движении 60
4. ДИНАМИКА ТОЧКИ 73
4.1. Дифференциальные уравнения движения точки. 73
4.2. Задание Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки 73
4.3. Колебания материальной точки 80
4.4. Задание Д2. Исследование колебаний точки 84
4.5. Теорема об изменении кинетической энергии точки. 95
4.6. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии 96
5. ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 103
5.1. Описание движений твёрдых тел на основе общих теорем динамики системы . 103
5.2. Задание Д4. Динамический расчет механической системы 104
5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы. 112
5.4. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии 114
6. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА 124
6.1. Принципы механики. Общее уравнение динамики 124
6.2. Задание Д6. Исследование механической системы с применением общего уравнения динамики 126
6.3. Уравнения Лагранжа II рода 136
6.4. Задание Д7. Исследование механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа 137
6.5. Задание Д8. Исследование механической системы с двумя степенями свободы 145
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 155

1. СТАТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Статика представляет раздел теоретической механики, в котором изучаются условия равновесия твердых тел под действием системы сил.

1.1. Основные виды связей и их реакции

Опора тела на гладкую плоскость (поверхность) без трения. Реакция приложена в точке касания и направлена перпендикулярно к общей касательной соприкасающихся поверхностей. При опоре углом, или на угол (рис. 1.1, *a*), реакция направлена по нормали к одной из поверхностей. **Гибкая связь**. Если на тело наложена связь в виде гибкой нерастяжимой нити (каната, троса), то реакция связи $\vec{T}$, равная натяжению нити, приложена к телу и направлена вдоль нити (рис. 1.1, *b*).

Цилиндрический шарнир (подшипник) создает соединение, при котором

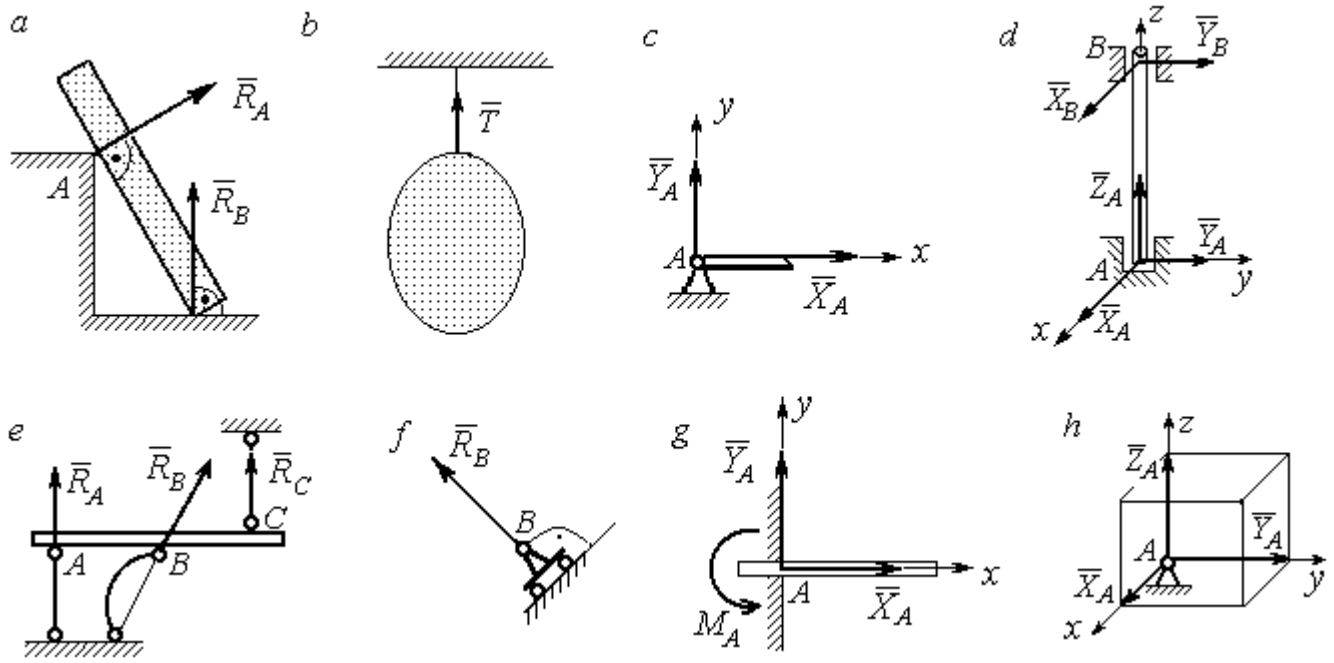


Рис. 1.1. Виды связей и их реакции:
a – реакция опоры тела на гладкую поверхность без трения; *b* – реакция связи гибкой нерастяжимой нити; *c* – реакция цилиндрического шарнира; *d* – реакция подшипника и подпятника; *e* – реакция невесомого стержня; *f* – реакция подвижной опоры; *g* – реакция жесткой заделки; *h* – реакция пространственного шарнира

одно тело может вращаться по отношению к другому. Реакция цилиндрического шарнира лежит в плоскости, перпендикулярной оси шарнира. При решении задач

реакцию цилиндрического шарнира $\vec{R}_A$ изображают ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, взятыми по направлениям координатных осей (рис. 1.1, *c*). Реакция подшипника $\vec{R}_B$ (рис. 1.1, *d*) также изображается своими составляющими $\vec{X}_B$ и $\vec{Y}_B$, взятыми по направлениям координатных осей в плоскости, перпендикулярной оси вращения подшипника. Величина реакции определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$. **Реакция прямолинейного невесомого стержня с шарнирными соединениями на краях** направлена вдоль самого стержня, а криволинейного – вдоль линии, соединяющей точки крепления стержня (рис. 1.1, *e*). **Реакция подвижной опоры** $\vec{R}_B$ (рис. 1.1, *f*) направлена по нормали к поверхности, на которую опираются катки опоры. **Жесткая заделка** (рис. 1.1, *g*) препятствует не только линейным перемещениям тела, но и повороту. Реакция заделки состоит из силы реакции $\vec{R}_A$ и пары сил с моментом M_A. При решении задач силу реакции жесткой заделки $\vec{R}_A$ изображают ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, взятыми по направлениям координатных осей. Модуль реакции определяется по формуле $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$. Виды связей и их реакции показаны на рис. 1.1.

1.2. Моменты силы относительно центра и относительно оси. Пара сил. Момент пары

Алгебраическим моментом силы F относительно центра O $M_O(\vec{F})$, или просто **моментом силы** $\vec{F}$ относительно центра *O,* называют взятое с соответствующим знаком произведение модуля силы $\vec{F}$ на кратчайшее расстояние *h* от центра *O* до линии действия силы: $M_O(\vec{F}) = \pm Fh$ (рис. 1.2, *a*).

Величину *h* называют **плечом силы**. Момент силы относительно центра считается положительным, если сила стремится повернуть тело вокруг центра против хода часовой стрелки, и отрицательным – в обратном случае.

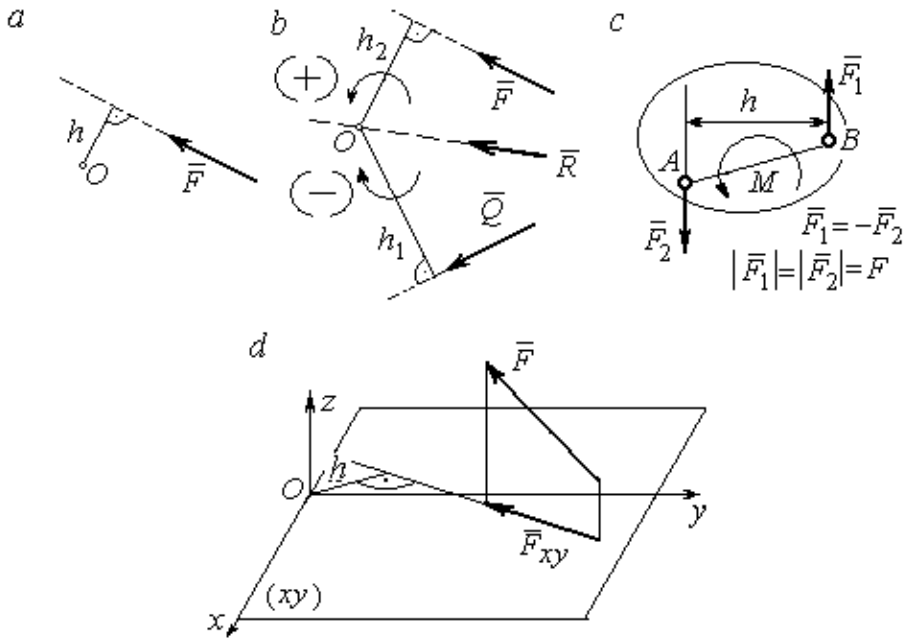


Рис. 1.2. Схемы для вычисления моментов сил:
a, *b* – момент силы относительно центра; *c* – момент пары сил;
d – момент силы относительно оси

На рис. 1.2, *b* показано, что момент силы $\vec{F}$ относительно центра *O* положительный, а момент силы $\vec{Q}$ относительно того же центра – отрицательный. Момент силы $\vec{R}$ относительно центра *O* равен нулю, так как линия действия этой силы проходит через центр *O* и плечо силы равно нулю.

Парой сил, или просто парой (рис.1.2, *c*), называют систему двух равных по модулю сил, параллельных, направленных в противоположные стороны и не лежащих на одной прямой. Алгебраическим моментом пары сил, или **моментом пары,** называют взятое со знаком плюс или минус произведение модуля одной из сил пары на плечо пары – кратчайшее расстояние между линиями действия ее сил. Правило знаков такое же, как и для момента силы. На рисунках пару часто изображают дуговой стрелкой, показывающей направление поворота твердого тела под действием пары (см. *M* на рис. 1.2, *c*).

Моментом силы относительно оси называют момент проекции этой силы на плоскость, перпендикулярную оси, относительно точки пересечения оси с этой плоскостью. На рис. 1.2, *d* показано вычисление момента силы *F* относительно

оси z: $M_z(\vec{F}) = F_{xy}h$, где F_{xy} – проекция силы $\vec{F}$ на плоскость xy, перпендикулярную оси z, h – плечо проекции F_{xy} относительно центра O – точки пересечения оси z и плоскости xOy.

1.3. Условия равновесия систем сил

Плоской системой сил называется система сил, расположенных в одной плоскости.

Основная форма условий равновесия плоской системы сил. Для равновесия плоской системы сил, приложенных к твердому телу, необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из двух осей прямоугольной системы координат, расположенной в плоскости действия сил, были равны нулю и сумма моментов сил относительно любого центра, находящегося в плоскости действия сил, также была равна нулю:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky} – проекции всех сил на координатные оси; $M_A(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно произвольно выбранного центра A.

Пространственной системой сил называется система сил, расположенных произвольно в пространстве.

Для **равновесия пространственной системы сил** необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на оси прямоугольной системы координат были равны нулю и суммы моментов всех сил относительно тех же осей также были равны нулю:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum F_{kz} = 0,$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = 0,\ \sum M_y(\vec{F}_k) = 0,\ \sum M_z(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси x, y, z; $M_x(\vec{F}_k)$, $M_y(\vec{F}_k)$, $M_z(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно выбранных осей.

Равновесие систем тел

Связи, соединяющие части конструкции, называют **внутренними,** в отличие от **внешних** связей, скрепляющих конструкцию с внешними телами, не входящими в данную конструкцию. Одним из способов решения задач на равновесие сил, действующих на сочленённую конструкцию с внутренними связями, является **разбиение конструкции на отдельные тела** и составление уравнений равновесия для каждого из тел, входящих в конструкцию. При этом в уравнения равновесия должны входить только силы, непосредственно приложенные к тому телу, равновесие которого рассматривается.

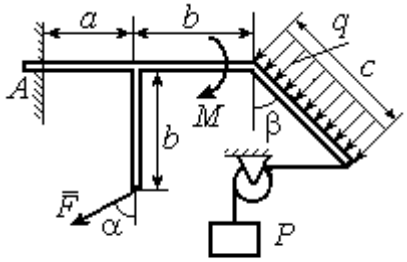
1.4. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел

Каждый вариант задания включает две задачи по темам: «Равновесие произвольной плоской системы сил» и «Равновесие системы тел».

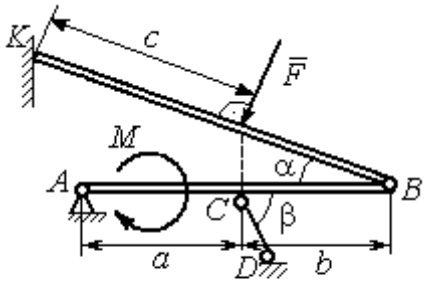
В задачах требуется определить реакции связей конструкции исходя из условия равновесия произвольной плоской системы сил. Весом стержневых подпорок, поддерживающих балочные конструкции, и блоков, через которые перекинуты невесомые нити, пренебречь.

Варианты заданий даны на рис. 1.3 – 1.6. Исходные данные приведены в табл. 1.1. Из таблицы исходных данных выбираются значения тех параметров, которые указаны на схемах.

Варианты № 1, 11, 21	
Задача 1	Задача 2



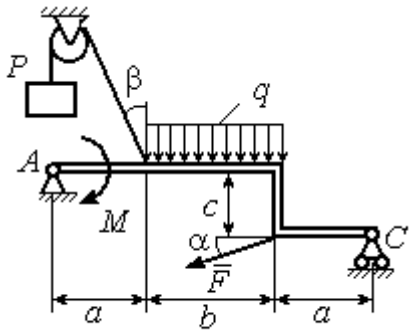
Найти реакцию жесткой заделки в точке A



Найти реакции шарниров A, B, реакцию стержня CD и реакцию опоры в точке K

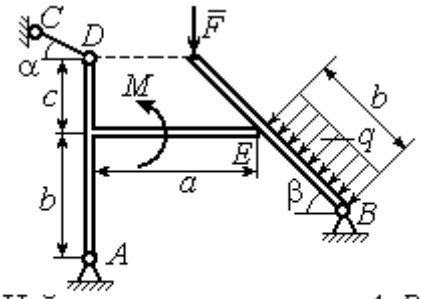
Варианты № 2, 12, 22

Задача 1



Найти реакции шарниров A и C

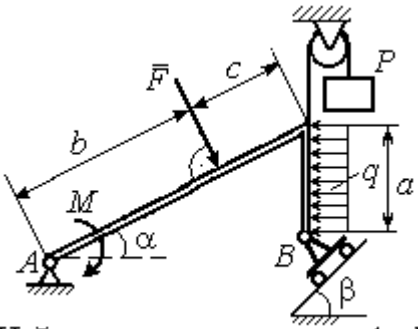
Задача 2



Найти реакции шарниров A, B, реакцию опоры в точке E и реакцию стержня CD

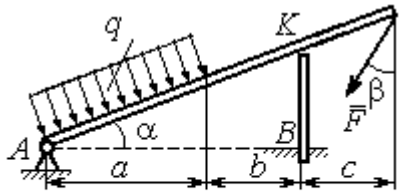
Варианты № 3, 13, 23

Задача 1



Найти реакцию шарниров A и B

Задача 2

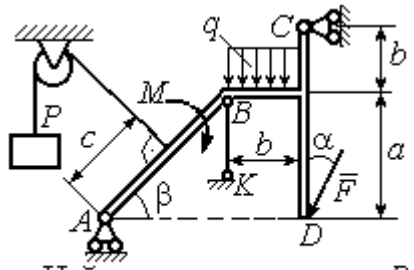


Найти реакцию шарнира A, реакцию опоры в точке K и реакцию жесткой заделки в точке B

Рис. 1.3. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел. Номера вариантов задания 1 – 3, 11 – 13, 21 – 23

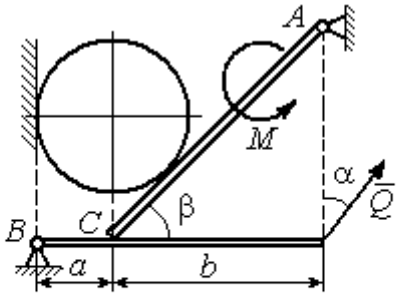
Варианты № 4, 14, 24

Задача 1



Найти усилие в стержне BK и реакцию шарниров A, C

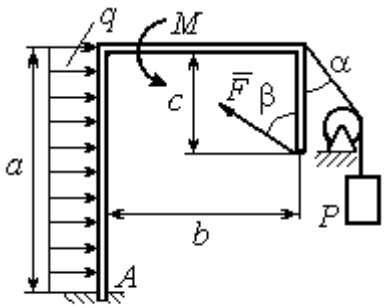
Задача 2



Вес шара P. Найти реакцию шарниров A, B, давление шара на балку и стенку, реакцию опоры балки в точке C и уравновешивающую силу Q

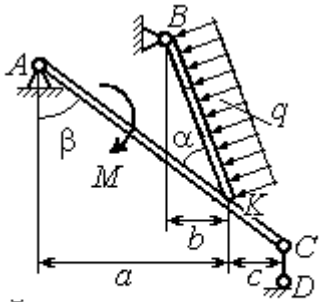
Варианты № 5, 15, 25

Задача 1



Найти реакцию жесткой заделки в точке A

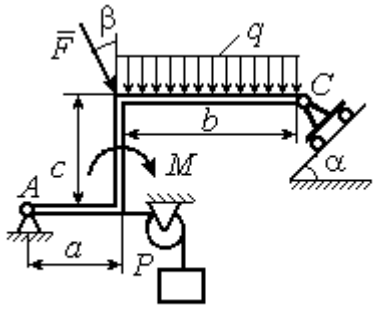
Задача 2



Найти реакцию шарнирв A, B, реакцию стержня CD и реакцию опоры в точке K

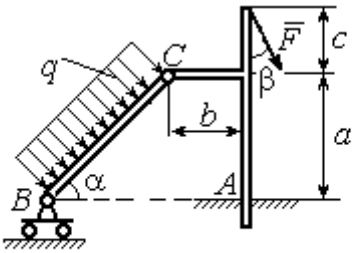
Варианты № 6, 16, 26

Задача 1



Найти реакции шарниров A и C

Задача 2

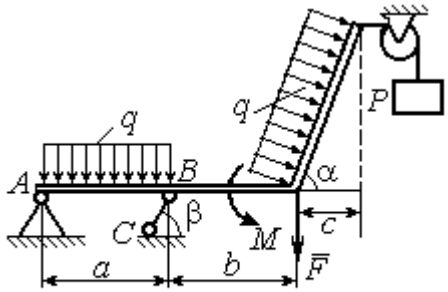


Найти реакцию жесткой заделки в точке A и реакции шарниров B и C

Рис. 1.4. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел. Номера вариантов задания 4 – 6, 14 – 16, 24 –26

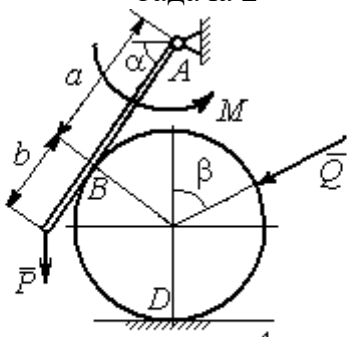
Варианты № 7, 17, 27

Задача 1



Найти реакцию стержня BC и реакцию шарнира A

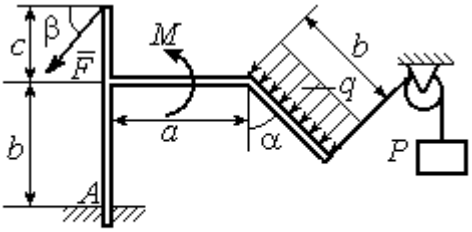
Задача 2



Найти реакцию шарнира A, давление балки на шар, реакцию опоры шара в точке D и уравновешивающую силу Q

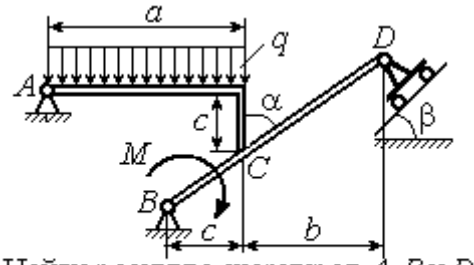
Варианты № 8, 18, 28

Задача 1



Найти реакцию жесткой заделки в точке A

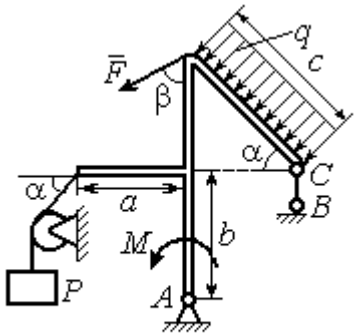
Задача 2



Найти реакцию шарниров A, B и D и реакцию опоры в точке C

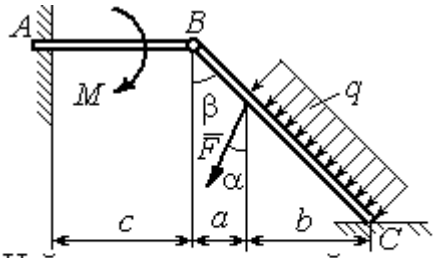
Варианты № 9, 19, 29

Задача 1



Найти реакцию стержня BC и реакцию шарнира A

Задача 2

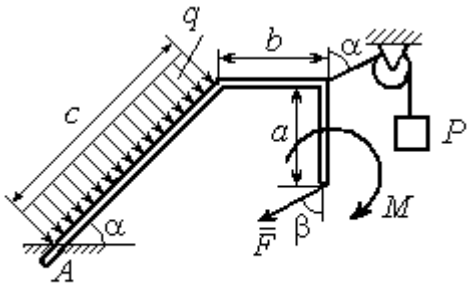


Найти реакцию жесткой заделки в точке A, реакцию шарнира B и реакцию опоры в точке C

Рис. 1.5. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел. Номера вариантов задания 7 – 9, 17 – 19, 27 – 29

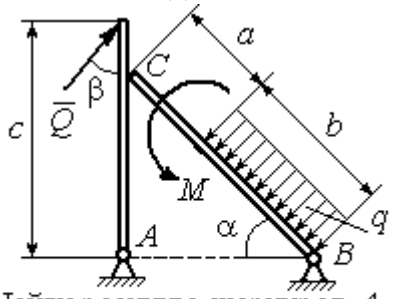
Варианты № 10, 20, 30

Задача 1



Найти реакцию жесткой заделки в точке A

Задача 2



Найти реакцию шарниров A, B, реакцию опоры в точке C и уравновешивающую силу Q

Рис. 1.6. Задание С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел. Номера вариантов задания 10, 20, 30

Таблица 1.1

Исходные данные задания С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел.

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
P, кН	6	5	6	12	6	6	10	3	8	5	10	4	8	10	8
F, кН	12	6	10	5	12	8	6	5	6	2	12	8	12	6	10
q, кН/м	5	4	2	3	6	3	5	2	2	4	6	2	3	4	5
M, кН·м	12	8	6	8	12	5	12	8	4	6	8	12	10	6	10
α, град	45	60	30	60	30	30	45	60	30	30	45	30	60	45	60
β, град	60	30	45	30	60	90	60	60	30	45	30	45	30	60	30
a, м	3	4	3	4	3	4	3	4	1	2	2	3	2	3	4
b, м	3	3	4	3	2	4	3	3	2	3	3	3	4	3	2
c, м	4	2	2	2	3	2	2	1	5	4	4	2	1	2	2

Номер варианта задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
P, кН	10	8	10	6	4	6	12	10	5	6	8	6	8	4	6
F, кН	6	12	12	8	3	14	10	8	15	10	12	8	10	10	2
q, кН/м	5	3	4	3	2	3	2	5	4	2	3	4	5	2	4
M, кН·м	10	6	8	6	5	12	4	6	8	10	12	10	6	4	8
α, град	60	60	30	45	60	30	60	45	30	60	45	30	30	30	45
β, град	45	30	30	60	60	45	30	60	30	45	90	30	60	45	30
a, м	3	4	3	1	2	2	4	1	4	3	4	3	2	1	2
b, м	2	4	3	3	4	1	4	3	2	2	2	2	2	2	2
c, м	3	2	2	4	5	4	2	2	1	1	1	2	1	3	5

Пример выполнения задания С1. Равновесие произвольной плоской системы сил. Равновесие системы тел.

Задача 1**.** Рама *ACE* (рис. 1.7) в точке *A* закреплена на цилиндрической шарнирной опоре, а в точке *B* поддерживается вертикальным невесомым стержнем *BK*. На раму действуют: пара с моментом $M = 8$ Нм, сила $F = 10$ Н, приложенная в точке *D* под углом 60° к раме, и равномерно распределенная нагрузка интенсивностью $q = 2$ Н/м, приложенная на отрезке *AB*. В точке *E* под прямым углом к участку балки *CE* прикреплен трос, несущий груз $P = 20$ Н. Пренебрегая весом балки, определить реакцию шарнира *A* и реакцию стержневой опоры *BK*, если $a = 2$ м.

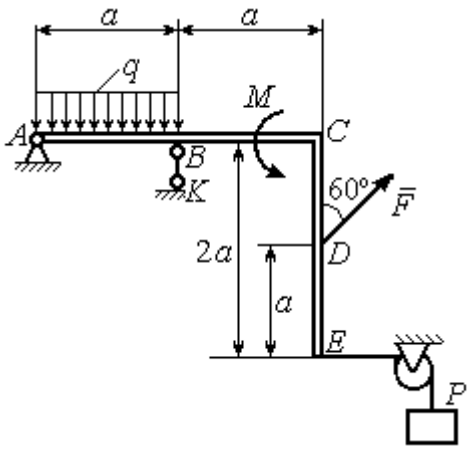


Рис. 1.7. Конструкция рамы

Решение

Выбираем систему координат *xAy*, например, как показано на рис. 1.8. Заменяем действие связей их реакциями. Изображаем реакцию шарнира *A* двумя ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленными вдоль горизонтальной и вертикальной осей (см. рис. 1.8). Реакция $\vec{R}_B$ невесомой стержневой опоры *BK* приложена в точке *B* и направлена вдоль стержня *BK*. Заменяем распределенную нагрузку её равнодействующей $\vec{Q}$. Сила $\vec{Q}$ приложена в середине отрезка *AB* и по модулю равна $Q = qa = 4$ Н. Действие груза *P* на раму изображается реакцией $\vec{T}$, равной по величине весу груза.

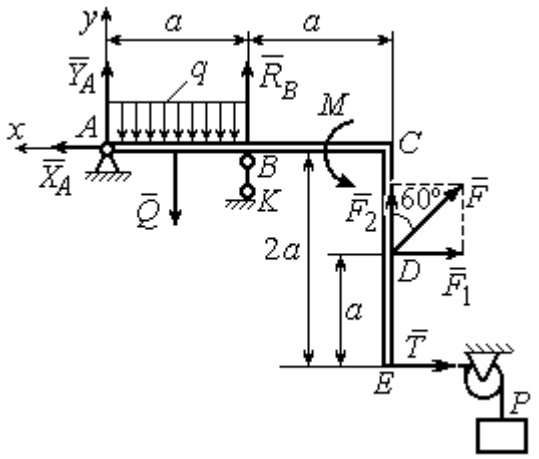


Рис. 1.8. Силы и реакции связей, действующие на раму при её равновесии

При равновесии рамы действующие на неё силы составляют уравновешенную произвольную плоскую систему. Условия равновесия системы сил имеют вид: $\sum F_{kx} = 0$, $\sum F_{ky} = 0$, $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$. Вычисляя проекции сил на оси *x*, *y*, и моменты сил относительно центра *A*, уравнения равновесия получим в виде:

$$\sum F_{kx} = X_A - F\cos 30^\circ - T = 0, \quad \sum F_{ky} = Y_A - Q + R_B + F\cos 60^\circ = 0.$$

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -Q\frac{a}{2} + R_B a + M + F\cos 60^\circ \cdot 2a + F\cos 30^\circ \cdot a + T2a = 0.$$

Здесь для вычисления момента силы $\vec{F}$ относительно центра A использована теорема Вариньона: $M_A(\vec{F}) = M_A(\vec{F}_1) + M_A(\vec{F}_2) = F_1 \cdot a + F_2 \cdot 2a$, где $F_1 = F\cos 30^\circ$, $F_2 = F\cos 60^\circ$ (см. рис. 1.8).

Подставляя в уравнения равновесия исходные данные задачи, получим систему уравнений относительно неизвестных X_A, Y_A, R_B:

$$X_A - 28{,}66 = 0, \quad Y_A + R_B + 1 = 0, \quad R_B \cdot 2 + 121{,}32 = 0.$$

Решая систему, найдем X_A = 28,66 Н, Y_A = 59,66 Н, R_B = – 60,66 Н.

Отрицательное значение величины R_B означает, что фактическое направление реакции R_B стержневой опоры BK противоположно направлению, показанному на рис. 1.8. Численное значение реакции шарнира

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = \sqrt{28{,}66^2 + 59{,}66^2} = 66{,}18 \text{ Н}.$$

Задача 2. Балка *ABLC* с вертикальной частью *AB* и горизонтальной перекладиной *LC* закреплена в точке *A* с помощью жесткой заделки (рис. 1.9). Наклонная балка *EC* с углом наклона к горизонту 60° в точке *C* шарнирно прикреплена к горизонтальной перекладине *CL*, а в точке *E* закреплена на шарнирно-подвижной опоре, установленной на горизонтальной поверхности. На конструкцию действуют равномерно распределенная на отрезках *BL* и *DE* нагрузка с одинаковой интенсивностью q = 2 кН/м, сила $\vec{F}$, приложенная в точке *D* перпендикулярно балке *EC* и равная по величине F = 10 кН, и пара сил с моментом M = 5 кН·м. Определить реакцию жесткой заделки *A* и реакции шарниров *C* и *E*, если a = 2 м.

Решение

Разделяем систему на две части по шарниру *C* и рассмотрим равновесие балок *ABLC* и *EC* отдельно. Изобразим обе балки и расставим внешние силы и реакции связей (рис. 1.10). Рассмотрим балку *ABLC* (рис. 1.10, *a*). Заменим распределенную нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_1$, приложенной в середине отрезка *BL*, направленной в сторону действия нагрузки и равной $Q_1 = q \cdot a = 4$ кН. Кроме силы $\vec{Q}_1$ и пары сил с моментом *M* на балку действуют реакция жёсткой заделки в точке *A*, имеющая своими составляющими силы $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$ и пару сил с моментом M_A, а также реакция шарнира *C*, разложенная на составляющие $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ (см. рис. 1.10, *a*). Действующие на раму силы составляют уравновешенную плоскую систему сил. Выберем систему координат *xAy*, как показано на рис. 1.10, *a*, и составим уравнения равновесия:

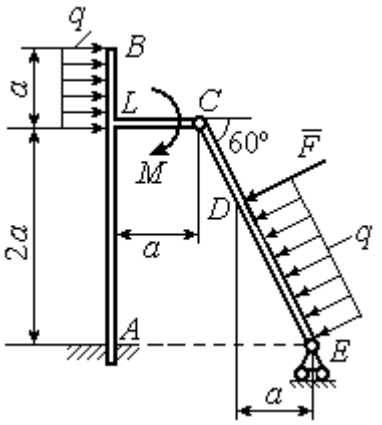


Рис. 1.9. Равновесие конструкции двух балок, соединённых шарниром

$$\sum F_{kx} = X_A + Q_1 + X_C = 0,$$

$$\sum F_{ky} = Y_A + Y_C = 0,$$

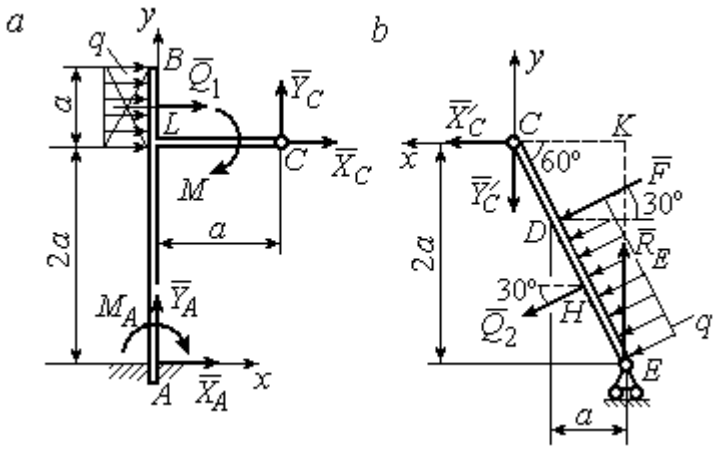


Рис. 1.10. Равновесие частей конструкции:
a - силы и реакции связей, действующие на балку *ABLC*;
b - силы и реакции связей, действующие на балку *CE*

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -M_A - Q_1 \cdot \left(2a + \frac{a}{2}\right) - M + Y_C a - X_C 2a = 0.$$

Рассмотрим равновесие балки *EC*. Заменим равномерную нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_2$, приложенной в середине отрезка *ED*, направленной в сторону действия нагрузки и равной по модулю $Q_2 = q \cdot 2a = 8$кН. На балку кроме сил $\vec{Q}_2$, $\vec{F}$ действуют реакции связей: $\vec{R}_E$ – реакция шарнирно-подвижной опоры в точке

E и $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ – составляющие реакции шарнира *C*. Силы $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ направлены противоположно силам $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ и равны им по модулю $X_C = X'_C$, $Y_C = Y'_C$ (см. рис. 1.10, *a*, *b*). Действующие на балку *EC* силы образуют плоскую уравновешенную систему сил. Выберем систему координат *xCy*, как показано на рис. 1.10, *b*, и составим уравнения равновесия. При этом центром, относительно которого будем считать моменты сил, выберем точку *C*. Получим:

$$\sum F_{kx} = Q_2 \sin 60^\circ + F\cos 30^\circ + \vec{X}'_C = 0,\ \sum F_{ky} = R_E - Q_2 \cos 60^\circ - F\sin 30^\circ - Y'_C = 0,$$

$$\sum M_C\left(\vec{F}_k\right) = -F \cdot CD - Q_2 \cdot CH + R_E \cdot CK = 0.$$

Здесь плечи сил: $CD = \dfrac{2a}{\cos 30^\circ} - 2a$, $CH = \dfrac{2a}{\cos 30^\circ} - a$, $CK = 2a\,\mathrm{tg}\,30^\circ$. Заменяя в уравнениях величины X'_C на X_C, а Y'_C на Y_C и подставляя исходные данные, получим систему уравнений:

$$X_A + X_C + 4 = 0,\ Y_A + Y_C = 0,\ -M_A - 4X_C + 2Y_C - 25 = 0,$$

$$X_C + 15{,}59 = 0,\ -Y_C + R_E - 9 = 0,\ 2{,}31R_E - 27{,}14 = 0,$$

откуда найдём величины реакции жесткой заделки и реакции шарниров:

$$X_A = 11{,}59 \text{ кН},\ Y_A = -2{,}76 \text{ кН},\ M_A = 42{,}87 \text{ кН·м},$$

$$X_C = -15{,}59 \text{ кН},\ Y_C = 2{,}76 \text{ кН},\ R_E = 11{,}76 \text{ кН}.$$

Модули реакций жесткой заделки *A* и шарнира *C*:

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 11{,}91 \text{ кН},\ R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = 15{,}83 \text{ кН}.$$

1.5. Задание С2. Равновесие пространственной системы сил

В заданиях рассматривается равновесие однородной плиты или вала (прямого или с «ломаной» осью) с насаженным на него шкивом.

Вал закреплен подпятником и подшипником и удерживается в равновесии. На вал действуют сила $\vec{F}$, пара сил с моментом M и сила $\vec{P}$. На шкив вала намотана нить, к свободному концу которой, перекинутому через невесомый блок, подвешен груз весом Q. Для вала определить реакции подшипника и подпятника и величину уравновешивающей силы Q (или момента M).

Плита весом P закреплена пространственным шарниром, подшипником и удерживается в заданном положении невесомым стержнем. На плиту действуют силы $\vec{F}$, $\vec{Q}$ и пара сил с моментом M. Для плиты найти реакции сферического и цилиндрического шарниров и реакцию стержня.

Варианты задания даны на рис. 1.11 – 1.13. Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 1.2.

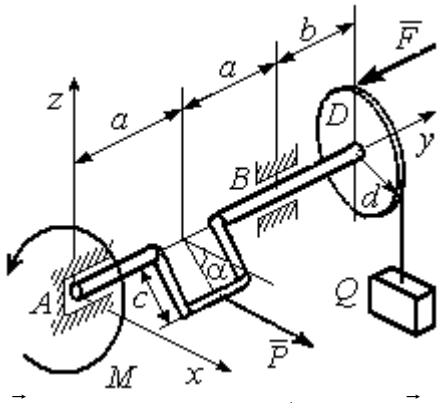
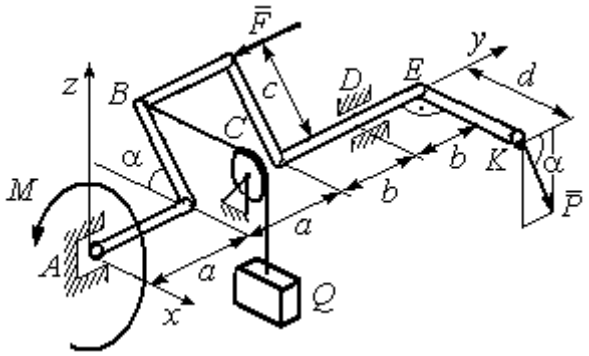
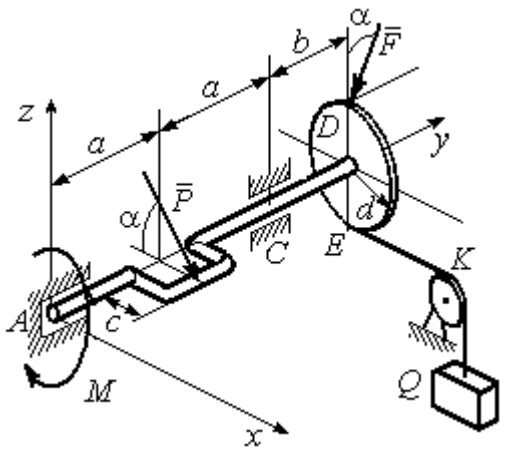
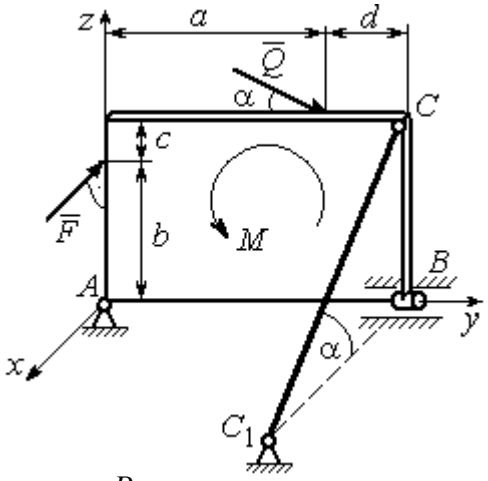
Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
	
Сила $\vec{F}$ параллельна оси Ay; сила $\vec{P}$ параллельна оси Ax; нить, удерживающая груз, сходит со шкива вертикально. Найти реакции подпятника и подшипника в точках A и B и величину уравновешивающего груза Q	Сила $\vec{F}$ параллельна оси Ay; сила $\vec{P}$ лежит в плоскости, параллельной zAy; отрезок нити BC параллелен оси Ax; рукоять вала EK параллельна оси Ax. Найти реакции подпятника и подшипника в точках A и D и величину уравновешивающего момента M

Рис. 1.11. Задание С2. Равновесие пространственной системы сил.
Номера вариантов задания 1 – 2, 11 – 12, 21 – 22

Варианты № 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
	
Сила $\vec{F}$, лежит в плоскости zAy; сила $\vec{P}$ лежит в плоскости, параллельной zAx, отрезок нити EK параллелен оси Ax. Найти реакции подпятника и подшипника в точках A и C, а также величину уравновешивающего груза Q	Плита весом P расположена в плоскости zAy; пара сил с моментом M действует в плоскости плиты; стержень CC_1 расположен в плоскости, параллельной zAx; сила $\vec{Q}$ действует в плоскости плиты; сила $\vec{F}$ перпендикулярна плоскости плиты. Найти реакции сферического и цилиндрического шарниров в точках A и B и реакцию стержня CC_1

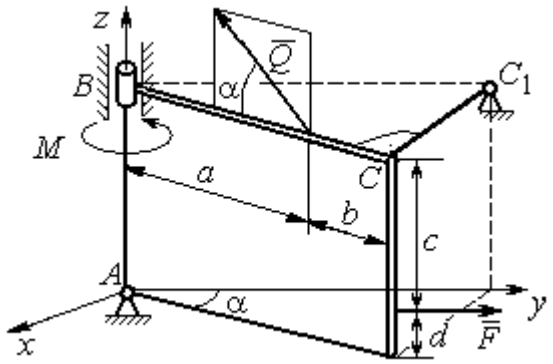
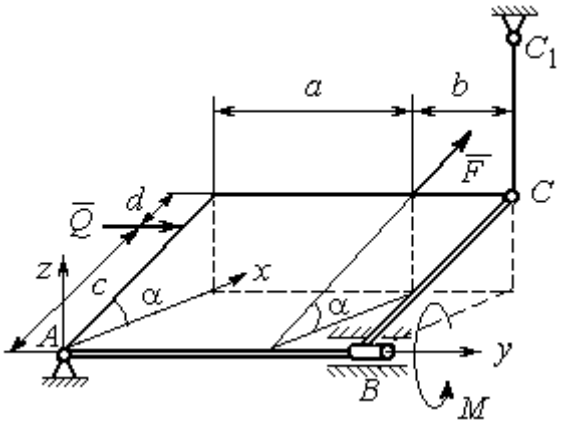
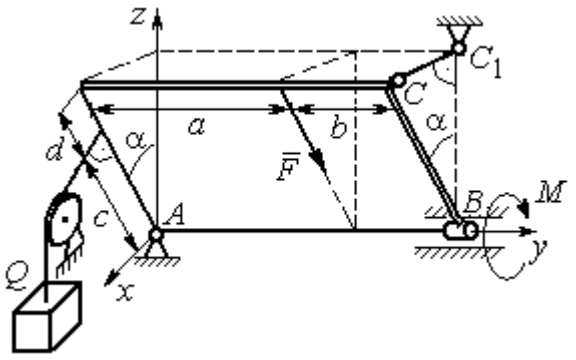
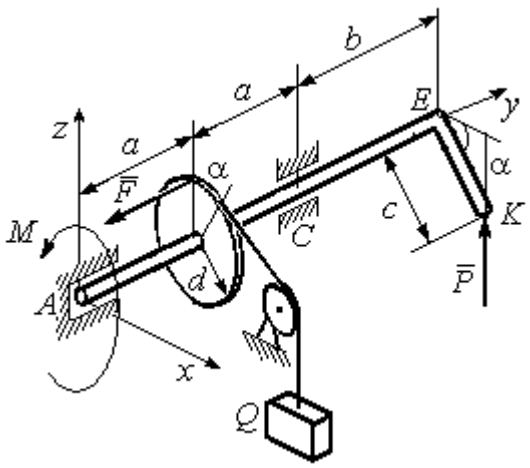
Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	
Плита весом P отклонена на угол α от вертикальной плоскости zAy; сила $\vec{Q}$ лежит в плоскости плиты; сила $\vec{F}$ параллельна оси Ay; стержень CC_1 перпендикулярен плоскости плиты. Найти реакции сферического и цилиндрического шарниров в точках A и B и реакцию стержня CC_1	Плита весом P отклонена на угол α от горизонтальной плоскости xAy; сила $\vec{Q}$ перпендикулярна боковой стенке плиты и параллельна оси Ay; сила $\vec{F}$ расположена в плоскости плиты и параллельна её боковым стенкам; стержень CC_1 параллелен оси Az. Найти реакции сферического и цилиндрического шарниров в точках A и B и реакцию стержня CC_1

Рис. 1.12. Задание С2. Равновесие пространственной системы сил.
Номера вариантов задания 3 – 6, 13 – 16, 23 – 26

Варианты № 7, 17, 27	Варианты № 8, 18, 28
	
Плита весом *P* отклонена на угол α от вертикальной плоскости z*Ay*; нить, удерживающая груз *Q*, находится плоскости z*Ax*, прикреплена к боковой стенке плиты и перпендикулярна ей; сила $\vec{F}$ параллельна боковым стенкам плиты; стержень CC_1 перпендикулярен плоскости z*Ay*. Найти реакции сферического и цилиндрического шарниров в точках *A* и *B* и реакцию стержня CC_1	Рукоять *EK* перпендикулярна оси вала и наклонена под углом α к горизонтальной плоскости *xAy*; сила $\vec{P}$ параллельна оси *Az*; сила $\vec{F}$ параллельна оси Ay; нить, удерживающая груз *Q*, сходит со шкива по касательной. Найти реакции подпятника *A*, подшипника *C*, и величину уравновешивающего груза *Q*

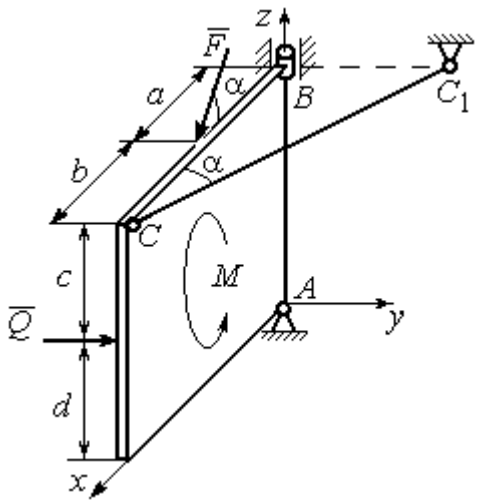
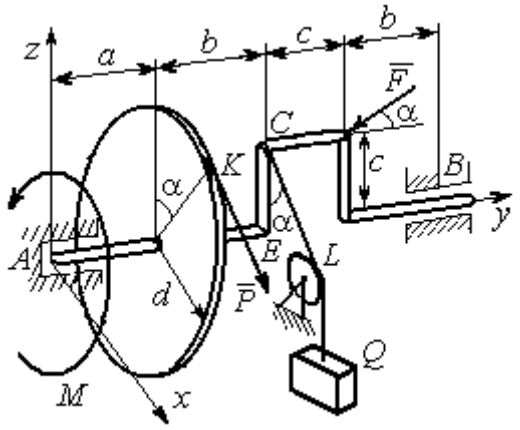
Варианты № 9, 19, 29	Варианты № 10, 20, 30
	
Плита весом *P* находится в вертикальной плоскости z*Ax*; стержень CC_1 расположен в плоскости, параллельной *xAy*; пара сил с моментом *M* действует в плоскости плиты; сила $\vec{Q}$ перпендикулярна плоскости плиты; сила $\vec{F}$ лежит в плоскости плиты. Найти реакции сферического и цилиндрического шарниров в точках *A* и *B* и реакцию стержня CC_1	Сила $\vec{F}$ находится в плоскости z*Ay*; стойка *CE* находится в плоскости z*Ay*; отрезок *CL* нити, удерживающей груз, находится в плоскости параллельной *xAz*; сила $\vec{P}$ находится в плоскости шкива и направлена по касательной к ободу в точке *K*. Найти реакции подпятника *A*, подшипника *B* и величину уравновешивающего момента *M*

Рис. 1.13. Задание С2. Равновесие пространственной системы сил.
Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 1.2

Исходные данные для задания С2.

Равновесие пространственной системы сил

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
P, кН	5	4	6	10	16	15	12	10	15	14
F, кН	8	6	12	6	10	10	8	12	12	10
Q, кН	–	12	–	12	8	12	10	–	10	12
M, кН·м	12	–	10	8	12	6	8	6	8	–
α, град	60	30	30	30	60	60	60	30	30	60
a, м	1,2	0,8	1,4	0,6	1,2	0,9	1,4	0,4	0,8	0,8
b, м	1,0	0,6	1,1	0,4	0,8	0,4	0,6	1,2	0,2	0,6
c, м	0,8	0,5	0,8	0,3	1,4	0,8	1,2	0,8	0,4	0,4
d, м	0,4	0,4	0,6	0,2	0,4	0,2	0,4	0,6	0,6	0,6

Номер варианта задания	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
P, кН	8	10	10	15	14	10	16	9	10	12
F, кН	6	12	16	8	12	14	10	15	8	10
Q, кН	–	14	–	10	10	12	14	–	12	14
M, кН·м	10	–	12	12	12	8	10	10	10	–
α, град	30	60	60	60	30	30	30	60	60	30
a, м	0,8	1,3	0,9	0,5	1,3	1,2	1,6	0,6	0,9	1,2
b, м	0,6	1,1	0,6	0,4	0,9	0,6	0,8	1,2	0,3	0,8
c, м	0,4	0,8	0,5	0,2	1,5	0,9	1,2	0,4	0,6	0,6
d, м	0,2	0,4	0,4	0,1	0,5	0,4	0,6	0,2	0,2	0,8

Номер варианта задания	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
P, кН	10	12	5	8	10	14	18	12	14	10
F, кН	12	8	15	10	12	8	10	15	9	8
Q, кН	–	10	–	12	14	10	16	–	12	6
M, кН·м	12	–	16	14	8	10	8	12	10	–
α, град	90	30	60	30	45	30	30	60	60	30
a, м	0,6	0,8	1,1	1,2	1,5	0,8	1,0	0,8	1,2	0,9
b, м	0,8	0,6	0,9	1,0	0,9	0,6	0,8	1,4	0,6	0,4
c, м	0,4	1,2	0,8	0,6	1,5	0,9	1,1	0,5	0,8	0,6
d, м	0,4	1,5	0,5	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5

Примеры решения задания С2. Равновесие пространственной системы сил

Задача 1. Горизонтальный вал (рис. 1.14) закреплен в подпятнике *C* и подшипнике *K*. Вал имеет шкив I радиуса *R* и шкив II радиуса *r*, перпендикулярные оси вала. Рукоять *AE* параллельна оси *Cx*. Нить, удерживающая груз *Q*, сходит со шкива I по касательной вертикально вниз. На вал действуют силы $\vec{F}$, $\vec{P}$ и пара сил с моментом *M*, закручивающая вал вокруг оси *Cy*. Сила $\vec{F}$ находится в плоскости, параллельной *zCy*, и составляет угол 60° с направлением оси *Cy*. Сила $\vec{P}$ приложена в точке *B* шкива II, определяемой центральным углом 30º, и направлена по касательной. Определить величину уравновешивающего момента *M* и реакции подшипника и подпятника, если *P* = 4 кН, *F* = 2 кН, *Q* = 3 кН, *R* = 0,6 м, *r* = 0,3 м, *a* = 0,8 м, *b* = 0,4 м.

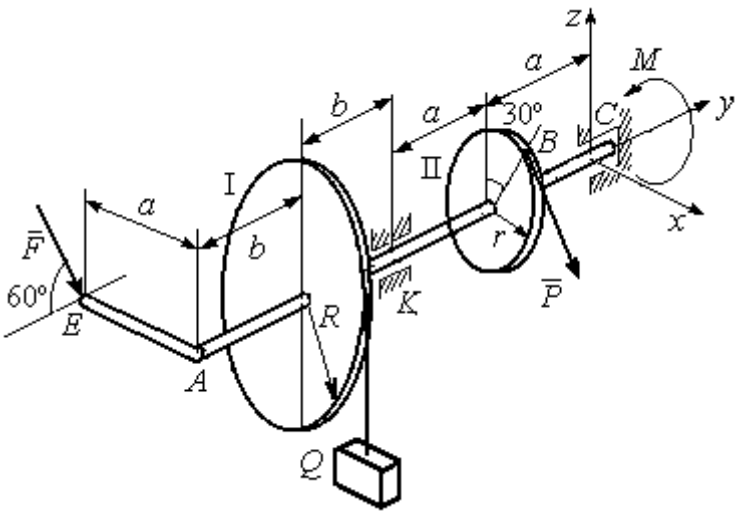


Рис. 1.14. Схема вала и его нагрузка

Решение

Рассмотрим равновесие вала. На вал действуют внешние силы $\vec{F}$, $\vec{P}$, пара сил с моментом *M* и реакции связей. Связями являются нить, натянутая грузом *Q*, подпятник *C* и подшипник *K*. Освобождаем вал от связей, заменяя их действие реакциями. Реакцию подпятника *C* раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$, $\vec{Z}_C$, направленные

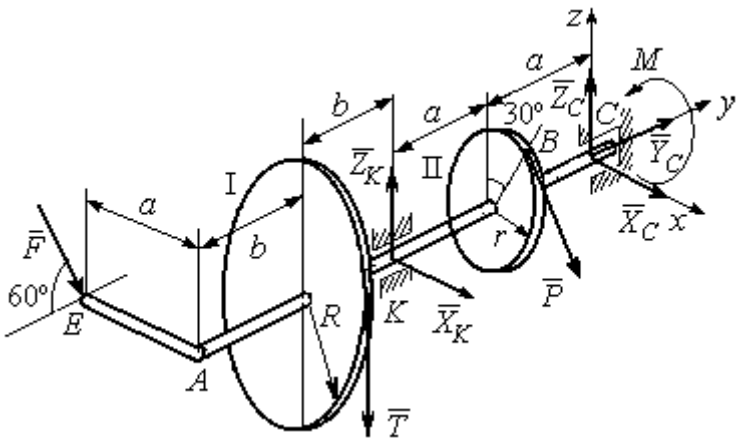


Рис. 1.15. Внешние силы и реакции связей вала

вдоль координатных осей. Реакция подшипника *K* лежит в плоскости, перпендикулярной оси вала, и ее составляющими будут вектора $\vec{X}_K, \vec{Z}_K$, направленные вдоль координатных осей *x*, *z*. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити от точки *K* и по модулю равна весу груза. Действие на вал внешних сил и реакций связи показано на рис. 1.15.

Внешние силы, действующие на вал, и реакции связей составляют произвольную пространственную систему сил, эквивалентную нулю ($\vec{P}$, $\vec{F}$, $\vec{X}_K, \vec{Z}_K, \vec{T}$, $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C, \vec{Z}_C, M$) ∞ 0, для которой уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum F_{kz} = 0,$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = 0,\ \sum M_y(\vec{F}_k) = 0,\ \sum M_z(\vec{F}_k) = 0.$$

Для удобства при составлении уравнений равновесия изобразим вал вместе с действующими на него силами в проекциях на координатные плоскости (рис. 1.16)

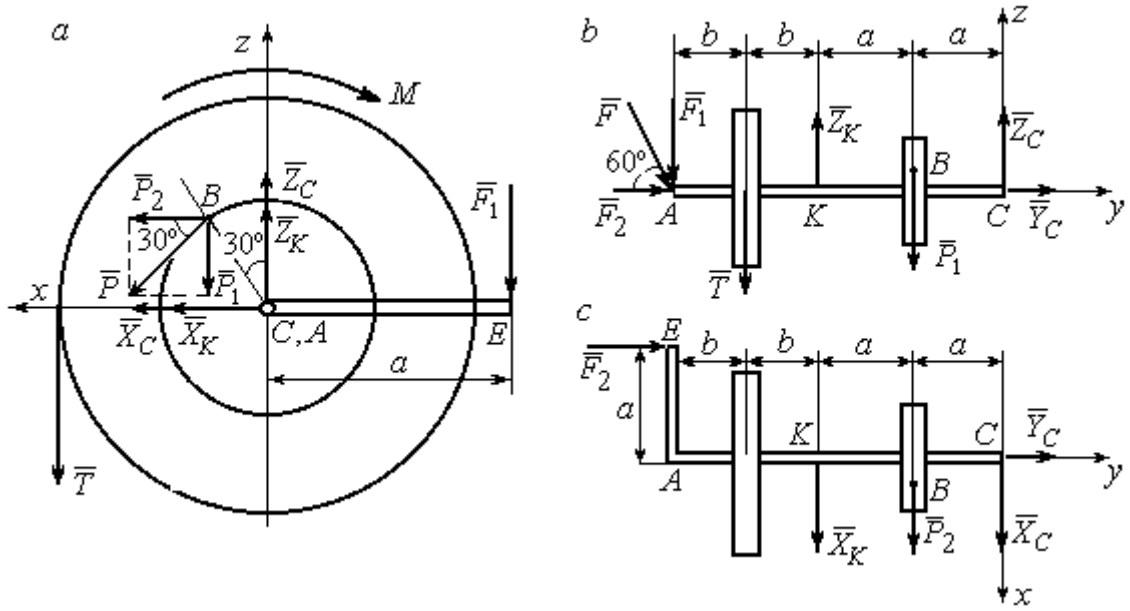


Рис. 1.16. Вал и действующие на него силы в проекциях на координатные плоскости:
a – вид вала в проекции на плоскость *zCx* с положительного конца оси *y*;
b – вид вала в проекции на плоскость *zCy* с положительного конца оси *x*;
c – вид вала в проекции на плоскость *xCy* с положительного конца оси *z*.

На рис. 1.16, *а* показаны проекции всех сил на плоскость *zCx*. Вычисляя моменты проекций этих сил относительно точки *C*, получим значения моментов исходных сил относительно оси *y*.

Для вычисления моментов сил относительно оси *x* достаточно найти моменты проекций сил на плоскость *zCy* относительно точки *C* (см. рис. 1.16, *b*), а вычисляя моменты проекций сил на плоскость *xCy* относительно точки *C*, получим значения моментов сил относительно оси z.

Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = P_2 + X_K + X_C = 0,\ \sum F_{ky} = F_2 + Y_C = 0,$$

$$\sum F_{kz} = -P_1 + Z_K - T + Z_C - F_1 = 0,$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = P_1 a - Z_K 2a - T(2a + b) + F_1(2a + 2b) = 0,$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = -F_1 a + TR + Pr - M = 0,$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = P_2 a + X_K 2a - F_2 a = 0.$$

Подставляя исходные данные задачи, с учётом того, что

$$P_1 = P\cos 60^\circ = 0{,}5P,\ P_2 = P\cos 30^\circ = 0{,}87P,$$

$$F_1 = F\cos 30^\circ = 0{,}87F,\ F_2 = F\cos 60^\circ = 0{,}5F$$ (см. рис. 1.16 *a*, *b*),

получим систему уравнений:

$$0{,}87 \cdot 4 + X_K + X_C = 0,\ \ 2 \cdot 0{,}5 + Y_C = 0,\ -4 \cdot 0{,}5 + Z_K - 3 + Z_C - 2 \cdot 0{,}87 = 0,$$

$$0{,}5 \cdot 4 \cdot 0{,}8 - 1{,}6Z_K - 3 \cdot 0{,}87(2 \cdot 0{,}8 + 0{,}4) + 2 \cdot 0{,}87(2 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}4) = 0,$$

$$-0{,}87 \cdot 0{,}8 + 3 \cdot 0{,}6 + 4 \cdot 0{,}3 - M = 0,\ 0{,}87 \cdot 4 \cdot 0{,}8 + 1{,}6 \cdot X_K - 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0.$$

Решая систему, найдём: $X_C = -2{,}24$ кН, $Y_C = -1$ кН, $Z_C = 6{,}39$ кН, $X_K = -1{,}24$ кН, $Z_K = 0{,}35$ кН, $M = 2{,}3$ кН·м.

Окончательно, реакция подпятника $R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2 + Z_C^2} = 6{,}84$ кН,

реакция подшипника $R_K = \sqrt{X_K^2 + Z_K^2} = 1{,}29$ кН.

Задача 2. Плита весом *P* расположена в вертикальной плоскости z*Ay*. В точке А плита закреплена пространственным шарниром, а в точке *B* на оси *y* опирается на цилиндрический шарнир (подшипник). Плита удерживается в равновесии при помощи невесомого стержня CC_1, прикреплённого шарниром к плите в её верхнем углу, в точке *C* перпендикулярно плоскости плиты (рис. 1.17).

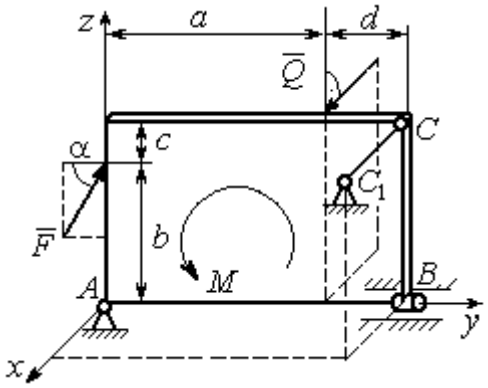


Рис. 1.17. Равновесие плиты

На плиту действует сила $\vec{Q}$, приложенная на краю плиты перпендикулярно её плоскости, и сила $\vec{F}$, лежащая в плоскости плиты и направленная под углом α к горизонту (см. рис. 1.17). Кроме того, в плоскости плиты на неё действует пара сил с моментом *M*. Найти реакции шарниров *A* и *B* и усилие в стержневой подпорке CC_1 при равновесии плиты, если параметры нагрузки: *P* = 1 кН, *Q* = 500 Н, *F* = 400 Н, *M* = 300 Н·м, $\alpha = 35^\circ$, *a* = 2 м, *b* = 1,5 м, *c* = 0,2 м, *d* = 0,4 м.

Решение

Заменим связи плиты их реакциями. Реакция шарнира *A* раскладывается на три составляющие: $\vec{X}_A$ $\vec{Y}_A$, $\vec{Z}_A$ по направлениям координатных осей. Направления координатных осей показаны на рис. 1.17. Реакция подшипника *B* лежит в плоскости, перпендикулярной оси подшипника, и ее составляющими будут вектора $\vec{X}_B, \vec{Z}_B$, направленные вдоль координатных осей *x*, *z*. Реакция стержня $\vec{T}$ направлена вдоль стержня. Действие сил и реакций показано на рис.1.18.

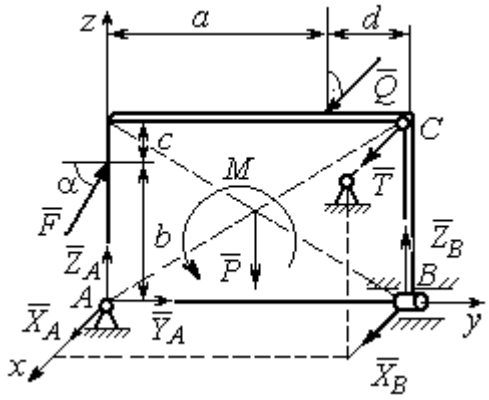


Рис. 1.18. Действие сил и реакций при равновесии плиты

Пространственная система сил, действующих на плиту, является уравновешенной: $(\vec{P}, \vec{F}, \vec{X}_B, \vec{Z}_B, \vec{T}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A, M) \infty 0$. Уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = 0\,,\ \sum F_{ky} = 0\,,\ \sum F_{kz} = 0\,,$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k)=0,\ \sum M_y(\vec{F}_k)=0,\ \sum M_z(\vec{F}_k)=0.$$

В вычислениях моментов сил относительно осей будем считать момент положительным, если при взгляде со стороны положительного направления оси, сила вращает тело (плиту) против хода часовой стрелки. Получим:

$$\sum F_{kx}=0,\ X_A+Q+X_B+T=0,$$

$$\sum F_{ky}=0,\ Y_A+F\cos\alpha=0,$$

$$\sum F_{kz}=0,\ Z_A+F\sin\alpha-P+Z_B=0$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k)=0,\ -F\cos\alpha\cdot b-P\cdot 0{,}5(a+d)+Z_B(a+d)+M=0,$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k)=0,\ Q\cdot(b+c)+T\cdot(b+c)=0,$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k)=0,\ -Q\cdot a-T\cdot(a+d)-X_B\cdot(a+d)=0.$$

Подставив исходные данные задачи, получим систему уравнений:

$$X_A+500+X_B+T=0,\ \ Y_A+400\cdot 0{,}82=0,\ Z_A+400\cdot 0{,}57-1000+Z_B=0,$$

$$-400\cdot 0{,}82\cdot 1{,}5-1000\cdot 0{,}5\cdot 2{,}4+Z_B\cdot 2{,}4+300=0,$$

$$500\cdot 1{,}7+T\cdot 1{,}7=0,\quad -500\cdot 2-T\cdot 2{,}4-X_B\cdot 2{,}4=0,$$

откуда находим значения составляющих реакций:

$$T=-500\text{ Н},\ X_B=83{,}33\text{ Н},\ Z_B=580\text{ Н},$$

$$X_A=-83{,}33\text{ Н},\ Y_A=-328\text{ Н},\ Z_A=192\text{ Н}.$$

Полные реакции пространственного шарнира A:

$$R_A=\sqrt{X_A^2+Y_A^2+Z_A^2}=389{,}09\text{ Н},$$

цилиндрического шарнира B: $R_B=\sqrt{X_B^2+Z_B^2}=585{,}95$ Н.

2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА

Кинематикой называется раздел механики, в котором изучаются свойства движения материальных тел без учета их масс и действующих на них сил.

2.1. Кинематика точки. Основные параметры движения точки

Кривая, которую описывает движущаяся точка, называется **траекторией** точки. Движение точки может быть задано **векторным**, **координатным** или **естественным** способами.

Векторный способ основан на определении положения точки ее радиусом-вектором в виде векторного уравнения $\vec{r} = \vec{r}(t)$. При **координатном способе** задания движения точки положение точки определяется ее координатами, заданными для каждого момента времени: $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$. **Естественный способ** задания движения используется, если заранее известна траектория движения точки. Тогда положение точки однозначно определяется длиной дуги $\breve{OM} = S(t)$, отсчитываемой от некоторой фиксированной точки O, принятой за начало отсчета.

Мгновенная скорость, или скорость точки в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от радиуса-вектора точки: $\vec{V} = \dot{\vec{r}}$. Вектор скорости точки $\vec{V}$ всегда направлен по касательной к траектории в сторону движения точки.

При координатном способе задания движения величины проекций вектора скорости $\vec{V}$ на координатные оси определяются как производные по времени от соответствующих координат: $V_x = \dot{x}$, $V_y = \dot{y}$, $V_z = \dot{z}$. Модуль вектора скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$. При естественном способе задания движения вектор скорости точки определяется равенством: $\vec{V} = \dot{S}\vec{\tau}$, где $S = S(t)$ – закон изменения длины дуги, $\vec{\tau}$ –единичный вектор касательной к траектории движения, направленный в сторону возрастающих расстояний.

Величина $V = |\dot{S}|$ называется алгебраической скоростью точки. При $\dot{S} > 0$ вектор скорости $\vec{V}$ направлен по единичному вектору $\vec{\tau}$ – в сторону возрастающих расстояний. При $\dot{S} < 0$ он имеет направление, противоположное единичному вектору $\vec{\tau}$, т. е. в сторону убывающих расстояний.

Мгновенное ускорение, или ускорение точки в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от вектора скорости точки или как вторая производная от радиус-вектора точки: $\vec{a} = \dot{\vec{V}} = \ddot{\vec{r}}$. При координатном способе проекции вектора ускорения $\vec{a}$ на координатные оси – величины a_x, a_y, a_z – определяются равенствами: $a_x = \dot{V}_x = \ddot{x}$, $a_y = \dot{V}_y = \ddot{y}$, $a_z = \dot{V}_z = \ddot{z}$. Модуль вектора ускорения равен: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

При естественном способе задания движения вектор ускорения точки $\vec{a}$ раскладывается на две взаимно перпендикулярные составляющие $\vec{a}_n$ и $\vec{a}_\tau$, параллельные осям n и τ естественной системы координат, и представляется в виде равенства $\vec{a} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n}$, или $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$, где $\vec{\tau}$ – единичный направляющий вектор оси, касательной к траектории (касательная ось); $\vec{n}$ – единичный направляющий вектор главной нормали траектории. Величина a_n называется **нормальным ускорением** точки и вычисляется по формуле: $a_n = \dfrac{V^2}{\rho}$, где ρ – радиус кривизны траектории. (У окружности радиус кривизны равен её радиусу, у прямой линии – бесконечности.) Вектор $\vec{a}_n$ нормальной составляющей ускорения всегда направлен к центру кривизны траектории. При движении по окружности радиус кривизны траектории равен радиусу окружности, а центр кривизны траектории совпадает с центром окружности. Величина a_τ называется **касательным ускорением** и равна модулю второй производной от заданного закона изменения длины дуги: $a_\tau = |\ddot{S}|$, где $S = S(t)$ – закон изменения длины дуги. Направление вектора касательного ускорения $\vec{a}_\tau$ зависит от знака второй производной $\ddot{S}$. При $\ddot{S} > 0$

вектор $\vec{a}_\tau$ в направлен в сторону возрастающих расстояний, по направлению единичного вектора $\vec{\tau}$, при $\ddot{S} < 0$ – в сторону убывающих расстояний (противоположно единичному вектору $\vec{\tau}$). Вектор полного ускорения $\vec{a}$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_n$ и $\vec{a}_\tau$. Модуль вектора ускорения: $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$.

2.2. Вращение тела вокруг неподвижной оси

Движение тела, при котором все точки некоторой его прямой остаются неподвижными, называется **вращательным**, а указанная прямая называется осью вращения. Вращение тела задается углом поворота $\varphi = \varphi(t)$ подвижной плоскости, связанной с телом, относительно некоторого ее начального положения. Направление вращения с возрастанием угла поворота считается положительным.

Величина **угловой скорости** вращения тела равна модулю производной от угла поворота тела по времени: $\omega = |\dot{\varphi}|$. Направление угловой скорости вращения тела зависит от знака производной $\dot{\varphi}$. При $\dot{\varphi} > 0$ вращение происходит в положительном направлении, в сторону возрастания угла поворота, при $\dot{\varphi} < 0$ – в отрицательном. Направление угловой скорости обычно показывают дуговой стрелкой вокруг оси вращения. Вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ направлен вдоль оси вращения в сторону, откуда вращение тела видно против хода часовой стрелки.

Величина **углового ускорения** при вращении тела равна модулю второй производной от угла поворота тела по времени: $\varepsilon = |\ddot{\varphi}|$. Если $\ddot{\varphi}$ одного знака с $\dot{\varphi}$, то угловое ускорение ускоряет вращение тела, если разных знаков, то угловое ускорение замедляет вращение.

При вращательном движении тела все его точки движутся по окружностям, радиусы которых равны расстояниям от выбранной точки до неподвижной оси. **Скорость точки вращающегося твердого тела (**в отличие от угловой скорости тела) называют **линейной,** или **окружной скоростью** точки. Величина скорости рассчитывается по формуле: $V = \omega h$, где ω – величина угловой скорости тела; h

– расстояние от точки до оси вращения. Вектор скорости точки лежит в плоскости описываемой точкой окружности и направлен по касательной к ней в сторону вращения тела. Отношение скоростей двух точек вращающегося тела равно отношению расстояний от этих точек до оси: $\frac{V_{M1}}{V_{M2}} = \frac{h_1}{h_2}$.

Ускорение точки вращающегося твердого тела рассчитывается как ускорение точки при естественном способе задания движения в виде суммы векторов касательного и нормального ускорений: $\vec{a}_M = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$. Величины касательного, нормального и полного ускорений точки вращающегося тела, соответственно: $a_\tau = \varepsilon h$, $a_n = \omega^2 h$, $a_M = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$, где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела; h – расстояние от точки до оси вращения.

2.3. Плоскопараллельное движение твёрдого тела

Плоскопараллельным, или плоским движением твердого тела, называется такое движение, при котором все точки тела движутся параллельно некоторой неподвижной плоскости. Плоское движение представляется в виде суммы мгновенного поступательного движения, при котором все точки плоской фигуры движутся со скоростью выбранной точки-полюса, и мгновенного вращательного движения вокруг этого полюса.

Скорость любой точки M плоской фигуры равна векторной сумме вектора скорости точки-полюса и вектора скорости точки M при вращении тела вокруг этого полюса: $\vec{V}_M = \vec{V}_A + \vec{V}_{MA}$, где $\vec{V}_M$ – скорость точки M; $\vec{V}_A$ – скорость полюса A; $\vec{V}_{MA}$ – вектор скорости точки M при вращении тела вокруг полюса A, модуль скорости $V_{MA} = \omega \cdot MA$, где ω – угловая скорость мгновенного вращательного движения тела вокруг полюса; MA – расстояние между полюсом A и точкой M.

Мгновенным центром скоростей называется такая точка P плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю. Выбрав в качестве полюса мгновенный центр скоростей, скорость любой точки плоской фигуры

находят так, как если бы мгновенное движение фигуры было вращательным вокруг мгновенного центра скоростей.

Способы построения мгновенного центра скоростей

1. Если известны направления скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ каких-нибудь двух точек *A* и *B* плоской фигуры, то мгновенный центр скоростей находится в точке пересечения перпендикуляров, восстановленных из этих точек к векторам скоростей (рис. 2.1, *a*).

2. Если скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ двух точек *A* и *B* плоской фигуры известны и параллельны друг другу, а линия *AB* перпендикулярна $\vec{V}_A$ (и, конечно, $\vec{V}_B$), то мгновенный центр скоростей определяется как точка пересечения линий, проведенных через основания и вершины векторов скоростей (построение показано на рис. 2.1, *b*, *c*).

3. Если скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ двух точек *A* и *B* параллельны друг другу, но линия *AB*, соединяющая эти точки, не перпендикулярна векторам скоростей (рис. 2.1, *d*), то мгновенная угловая скорость тела равна нулю и движение тела в данный момент времени является мгновенным поступательным. В этом случае скорости всех точек равны по величине и направлению.

4. Если плоскопараллельное движение осуществляется путем качения без скольжения одного тела по неподвижной поверхности другого, то мгновенный

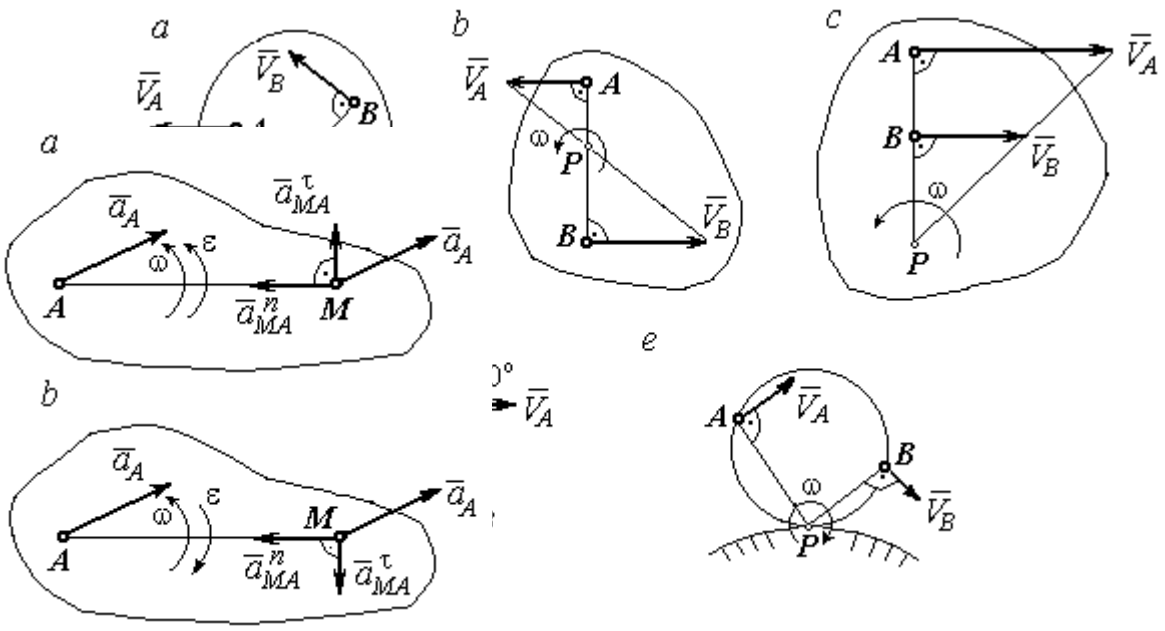


Рис. 2.1. Способы построения мгновенного центра скоростей

Рис. 2.2. Ускорение точки плоской фигуры:
a – ускоренное движение;
b – замедленное движение

центр скоростей расположен в точке касания катящегося тела с неподвижной поверхностью (рис. 2.1, *e*).

Ускорение любой точки *M* плоской фигуры при плоскопараллельном движении твердого тела представляется как сумма векторов – ускорения полюса и ускорения точки *M* при вращении фигуры вокруг полюса. Учитывая, что ускорение точки вращающегося тела представляется как сумма нормального и касательного ускорений, получим:

$$\vec{a}_M = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{MA} + \vec{a}^{n}_{MA},$$

где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса *A*; $\vec{a}^{\tau}_{MA}$, $\vec{a}^{n}_{MA}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *M* при вращении фигуры вокруг полюса *A*.

Вектор нормального ускорения $\vec{a}^{n}_{MA}$ всегда направлен от точки *M* к полюсу *A*. Вектор касательного ускорения $\vec{a}^{\tau}_{MA}$ направлен перпендикулярно отрезку *AM* в сторону вращения, если оно ускоренное (рис. 2.2, *a*), и против вращения, если оно

замедленное (рис. 2.2, *b*). Численно величины касательного и нормального составляющих ускорения точки *M* определяются по формулам:

$$a^{\tau}_{MA} = \varepsilon \cdot AM\ ,\ \ a^{n}_{MA} = \omega^2 \cdot AM\ ,$$

где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела (плоской фигуры); AM – расстояние от точки *M* до полюса *A* (см. рис. 2.2).

Если при движении плоской фигуры известны траектории движения полюса *A* и точки *M*, то для определения ускорения точки *M* используется векторное равенство

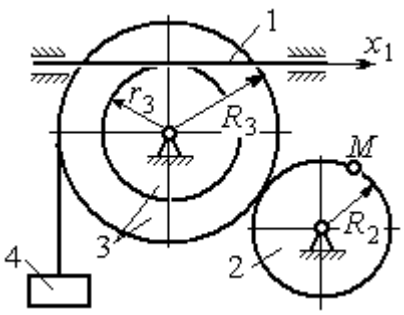
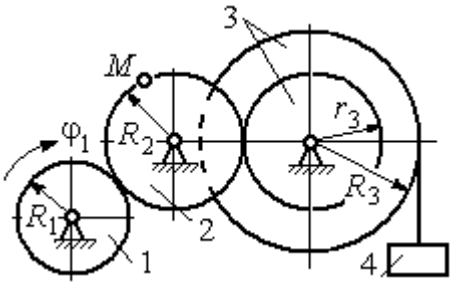
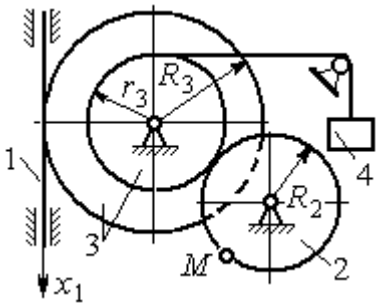
$$\vec{a}^{\tau}_{M} + \vec{a}^{n}_{M} = \vec{a}^{\tau}_{A} + \vec{a}^{n}_{A} + \vec{a}^{\tau}_{MA} + \vec{a}^{n}_{MA},$$

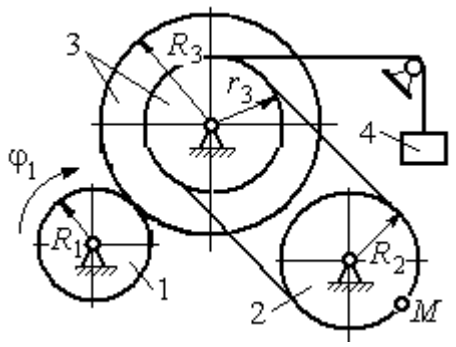
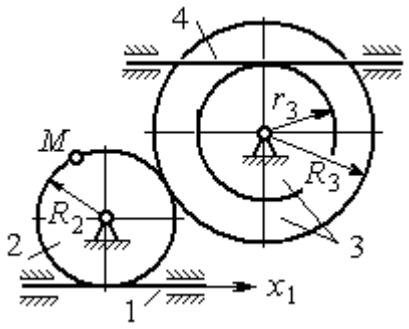
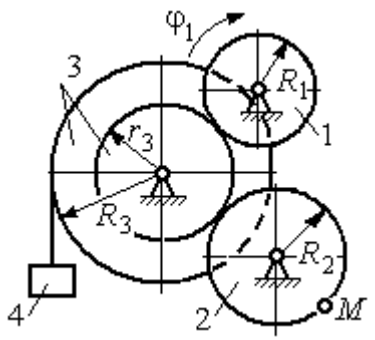
где $\vec{a}^{\tau}_{M}$, $\vec{a}^{n}_{M}$, $\vec{a}^{\tau}_{A}$, $\vec{a}^{n}_{A}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *M* и полюса *A* при движении их по заданным траекториям.

2.4. Задание К1. Определение скоростей и ускорений точек твердого тела при поступательном и вращательном движениях

По заданному движению одного из звеньев механизма $x_1 = x_1(t)$ (варианты 1, 3, 5, 7, 9) или $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ (варианты 2, 4, 6, 8, 10) найти в момент времени t_1 скорость, касательное, нормальное и полное ускорения точки *M* звена механизма, совершающего вращательное движение, а также скорость и ускорение звена 4, совершающего поступательное движение.

Варианты заданий даны на рис. 2.3, 2.4. Исходные данные представлены в табл. 2.1.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**	**Варианты № 3, 13, 23**
		

Варианты № 4, 14, 24	Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
		

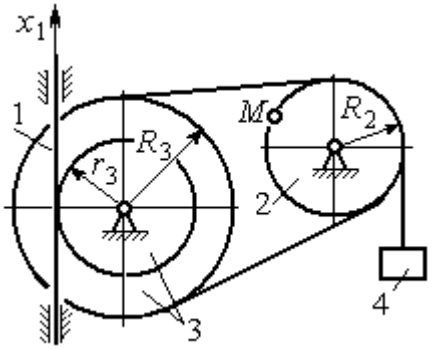
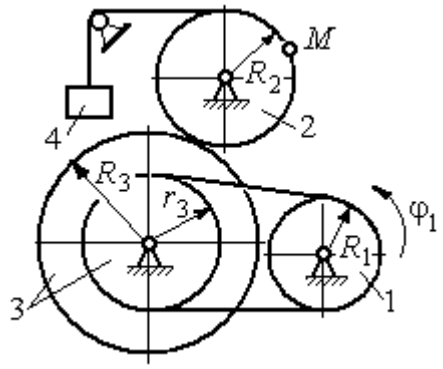
Варианты № 7, 17, 27	Варианты № 8, 18, 28
	

Рис. 2.3. Задание К1. Определение скоростей и ускорений точек при поступательном и вращательном движениях твёрдого тела. Номера вариантов задания 1 – 8, 11 – 18, 21 – 28

Окончание вариантов задания К1

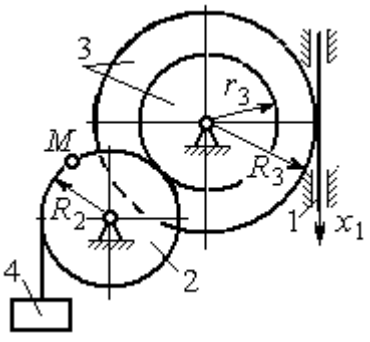
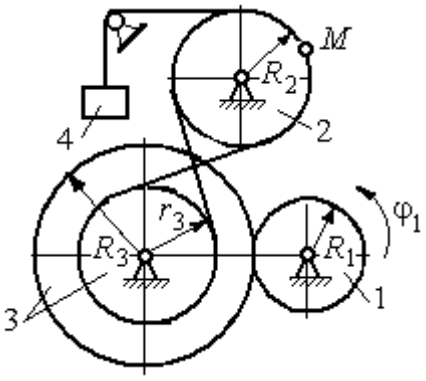
Варианты № 9, 19, 29	Варианты № 10, 20, 30
	

Рис. 2.4. Задание К1. Определение скоростей и ускорений точек при поступательном и вращательном движениях твёрдого тела. Номера вариантов задания 9 – 10, 19 – 20, 29 – 30

Таблица 2.1

Исходные данные вариантов задания К1. Определение скоростей и ускорений точек при поступательном и вращательном движениях твёрдого тела

Номер варианта задания	R_1,см	R_2, см	R_3, см	r_3, см	$x_1(t)$, см $\varphi_1(t)$, рад	t_1, с
1	–	40	45	35	$x_1(t) = (3t-1)^2$	2
2	10	20	38	18	$\varphi_1(t) = t^2 + 6\cos(\pi t/6)$	3
3	–	30	42	18	$x_1(t) = 5t^2 - 2\cos(\pi t/2)$	1
4	15	30	45	20	$\varphi_1(t) = 5t^2 + \cos(\pi t/2)$	2
5	–	30	40	20	$x_1(t) = 6t - \cos(\pi t/3)$	3
6	10	20	30	10	$\varphi_1(t) = t^3 - \cos(\pi t/2)$	1
7	–	30	40	30	$x_1(t) = 2\sin(\pi t/2) + \cos(\pi t/2)$	2
8	8	10	30	25	$\varphi_1(t) = 5t + \cos(\pi t/2)$	2
9	–	18	30	18	$x_1(t) = 5t + \cos(\pi t/3)$	3
10	15	30	50	20	$\varphi_1(t) = 2t^2 + \sin(\pi t/4)$	2
11	–	30	40	25	$x_1(t) = (t^2 - 3t)$	2
12	12	20	40	28	$\varphi_1(t) = 3t^2 + 6\sin(\pi t/6)$	3
13	–	25	60	42	$x_1(t) = 2t^2 + \cos(\pi t/2)$	1
14	10	30	45	30	$\varphi_1(t) = 3t^2 + 2\cos(\pi t/2)$	2

Окончание табл. 2.1

Номер варианта задания	R_1,см	R_2, см	R_3, см	r_3, см	$x_1(t)$, см $\varphi_1(t)$, рад	t_1, с
15	–	20	30	20	$x_1(t)=3t^2-\cos(\pi t/3)$	3
16	12	18	40	20	$\varphi_1(t)=2t^3+\cos(\pi t/2)$	1
17	–	20	35	15	$x_1(t)=2\sin(\pi t/2)-\cos(\pi t/2)$	2
18	15	18	40	25	$\varphi_1(t)=5t+\cos(\pi t/2)$	1
19	–	22	50	18	$x_1(t)=t^2+\cos(\pi t/3)$	3
20	10	20	45	10	$\varphi_1(t)=2t^2+\sin(\pi t/4)$	4
21	–	20	40	20	$x_1(t)=t+(3t-4)^2$	2
22	8	18	42	18	$\varphi_1(t)=2t^2+12\cos(\pi t/6)$	3
23	–	45	60	40	$x_1(t)=4t^2+\sin(\pi t/2)$	1
24	5	15	30	20	$\varphi_1(t)=2t^2+4\cos(\pi t/2)$	2
25	–	15	35	25	$x_1(t)=2t^2+\cos(\pi t/3)$	3
26	18	20	35	20	$\varphi_1(t)=2t^3+\sin(\pi t/2)$	1
27	–	15	35	15	$x_1(t)=2\sin(\pi t/2)-\cos(\pi t/2)$	1
28	10	12	40	25	$\varphi_1(t)=2t^2+\cos(\pi t/2)$	1
29	–	35	50	10	$x_1(t)=t^3-\cos(\pi t/2)$	1
30	10	20	40	10	$\varphi_1(t)=2t^2+\cos(\pi t/4)$	4

Пример выполнения задания К1. Определение скоростей и ускорений точек при поступательном и вращательном движениях твёрдого тела

По заданному уравнению движения звена 1 механизма (рис. 2.5, *а*) определить скорость, нормальное, касательное и полное ускорения точки *M* на момент времени t_1, а также скорость и ускорение звена 4, если значения радиусов колес механизма и закон движения звена 1: $R_2 = 20$ см, $r_2 = 5$ см, $R_3 = 8$ см, $r_3 = 4$ см, $x_1 = 2t^2 - 5t$ см, $t_1 = 1$ с.

Решение

Отметим на схеме положительные направления отсчета углов поворота дисков 2 и 3, соответствующие заданному положительному направлению движения звена 1.

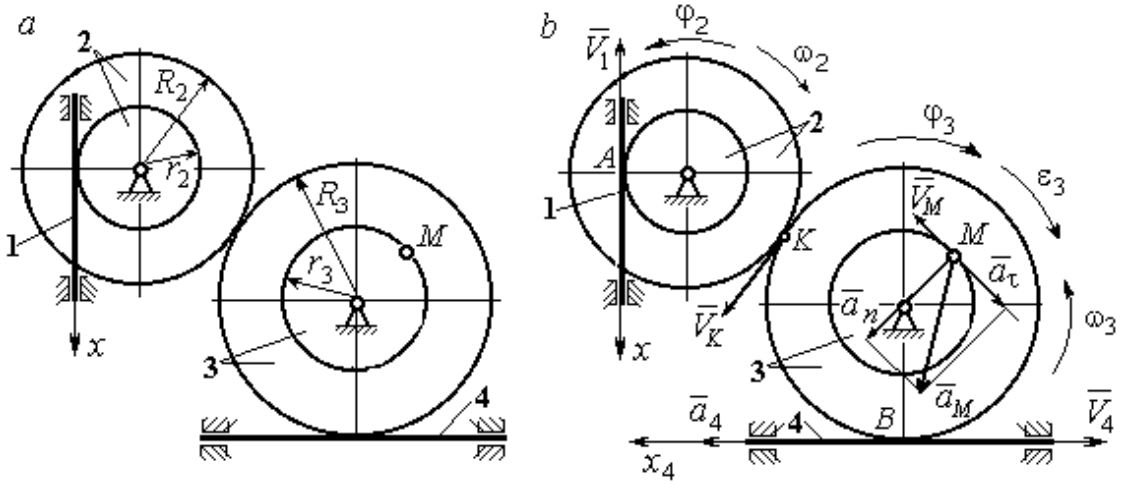


Рис. 2.5. Кинематика вращательного движения твердого тела:
a – схема механизма; *b* – расчетная схема для определения скоростей и ускорений точек механизма

Направления показаны на рис 2.5, *b* дуговыми стрелками φ_2, φ_3, а положительное направление движения звена 4 – направлением оси x_4.

Звено 1 движется поступательно. Движение задано координатным способом в виде закона изменения координаты x. Дифференцируем по времени уравнение движения: $\dot{x} = 4t - 5$ см/с. В момент времени $t_1 = 1$ с значение производной: $\dot{x}(1)$ = –1 см/с. Отрицательное значение производной $\dot{x}$ показывает, что в данный момент времени звено 1 движется в отрицательном направлении оси *x*. Скорость звена 1 равна модулю производной: $V_1 = |\dot{x}|$. На рис. 2.5, *b* направление движения звена 1 в момент времени $t_1 = 1$ с показано вектором скорости $\vec{V}_1$, направленным в сторону, противоположную положительному направлению оси *x*. Эту же скорость будет иметь точка *A* – точка контакта звена 1 с диском 2, лежащая на расстоянии r_2 от оси вращения диска. Следовательно, $V_1 = V_A = \omega_2 r_2$, где ω_2 – угловая скорость диска 2. Отсюда угловая скорость диска: $\omega_2 = \dfrac{V_A}{r_2} = \dfrac{|4t-5|}{5} = |\dot{\varphi}_2|$ рад/с.

При $t_1 = 1$ с значение производной отрицательно: $\dot{\varphi}_2(1)$ = – 0,2 рад/с. Это означает, что в заданный момент времени вращение диска 2 с угловой скоростью

$\omega_2(1)=|\dot{\varphi}_2(1)|$ = 0,2 рад/с происходит в отрицательном для диска 2 направлении. На рис. 2.5, *b* направление вращения диска 2 показано дуговой стрелкой ω_2 в сторону, противоположную положительному направлению отсчета угла φ_2. При передаче вращения диска 2 диску 3 величины угловых скоростей дисков обратно пропорциональны радиусам дисков, которым принадлежит точка контакта: $\frac{\omega_2}{\omega_3}=\frac{R_3}{R_2}$. Тогда, угловая скорость диска 3 $\omega_3=\omega_2\frac{R_2}{R_3}=|2t-2{,}5|$ = $|\dot{\varphi}_3|$ рад/с.

В момент времени $t_1=1$с значение производной $\dot{\varphi}_3$ отрицательно: $\dot{\varphi}_3(1)=$ – 0,5 рад/с, и, следовательно, вращение диска 3 в данный момент времени с угловой скоростью $\omega_3(1)$ = $|\dot{\varphi}_3(1)|=0{,}5$ рад/с происходит в сторону, противоположную положительному направлению отсчета угла φ_3, как показано на рис. 2.5, *b*. Величина (модуль) скорости точки *M* рассчитывается по формуле: $V_M=\omega_3 r_3$. В момент времени $t_1=1$ с модуль скорости $V_M(1)=2$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_M$ расположен по касательной к траектории движения точки *M* (окружности) и направлен в сторону вращения диска 3 (см. рис. 2.5, *b*).

Звено 4 движется поступательно. Скорость звена 4 равна скорости точки касания его с диском 3: $V_4=V_B=\omega_3 R_3$ = $|2t-2{,}5|\cdot 8$ = $|\dot{x}_4|$. В момент времени $t_1=1$ с значение производной от координаты движения звена 4 отрицательно: $\dot{x}_4(1)=-4$ см/с. В результате, вектор скорости $\vec{V}_4(1)$, равный по модулю $V_4(1)$ = 4 см/с, направлен вдоль оси x_4 в сторону, противоположную ее положительному направлению (см. рис. 2.5, *b*).

Угловое ускорение диска 3: $\varepsilon_3(t)=|\dot{\omega}_3|=|\ddot{\varphi}_3|$ = 2 рад/с^2. Из того, что угловая скорость ω_3 и угловое ускорение $\dot{\omega}_3$ диска 3 имеют разные знаки, следует, что вращение диска 3 замедленное. Угловое ускорение диска направлено в сторону положительного направления отсчета угла поворота φ_3, диска 3 (см. рис. 2.5, *b*).

Касательное ускорение a_τ точки *M* рассчитывается по формуле $a_\tau=\varepsilon_3 r_3$ и в момент времени $t_1=1$ с: $a_\tau=8$ см/с^2. Так как вращение диска 3 замедленное,

вектор касательного ускорения точки M $\vec{a}_\tau(t)$ направлен в сторону, противоположную вектору скорости $\vec{V}_M(1)$ (см. рис. 2.5, *b*). Нормальное ускорение a_n точки M рассчитывается как $a_n = \omega_3^2 r_3$. В момент времени $t_1 = 1$ с величина нормального ускорения: $a_n(1)$ = 1 см/с^2. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_n(1)$ направлен по радиусу к центру диска 3 (см. рис. 2.5, *b*). Полное ускорение точки M в заданный момент времени: $a_M(1) = \sqrt{a_\tau^2(1) + a_n^2(1)}$ = 8,06 см/с^2. Вектор полного ускорения $\vec{a}_M$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_n$ и $\vec{a}_\tau$.

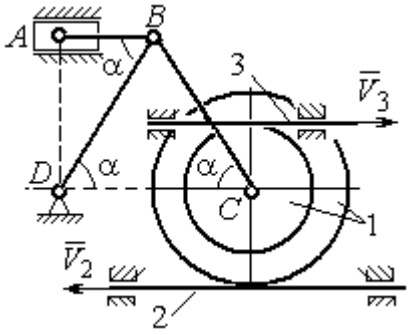
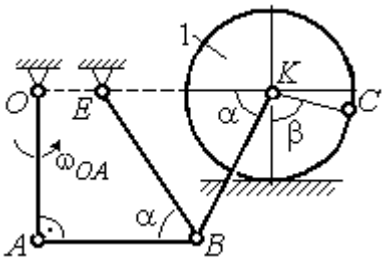
Ускорение a_4 звена 4 находится из условия, что звено 4 движется поступательно и прямолинейно. При прямолинейном движении нормальная составляющая ускорения равна нулю. Тогда $a_4 = a_{4\tau} = \dot{V}_4 = = \dot{V}_B = |\dot{\omega}_3| R_3 = \varepsilon_3 R_3$.

Так как угловое ускорение диска 3 является постоянной величиной, ускорение a_4 не зависит от времени: a_4 = 16 см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_4$ направлен вдоль оси x_4 в сторону положительных значений.

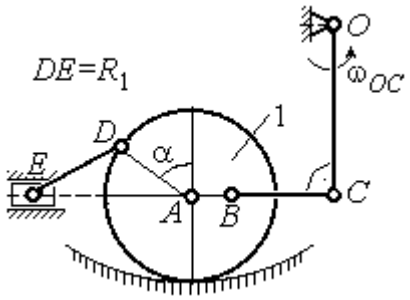
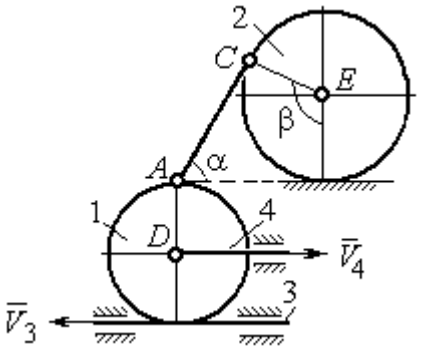
2.5. Задание К2. Определение скоростей точек твёрдого тела при плоскопараллельном движении

Для заданного положения плоского механизма определить скорости точек и угловые скорости звеньев механизма.

Варианты заданий показаны на рис. 2.6 – 2.8. Исходные данные вариантов заданий выбираются из таблиц, приведённых на рисунках схем механизмов.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
 Найти: $V_A, V_B, V_C, \omega_{AB}, \omega_{BC}, \omega_1, \omega_{BD}$	 Найти: V_A, V_B, V_K, $\omega_1, \omega_{AB}, \omega_{OA}$, ω_{BE}, ω_{BK}

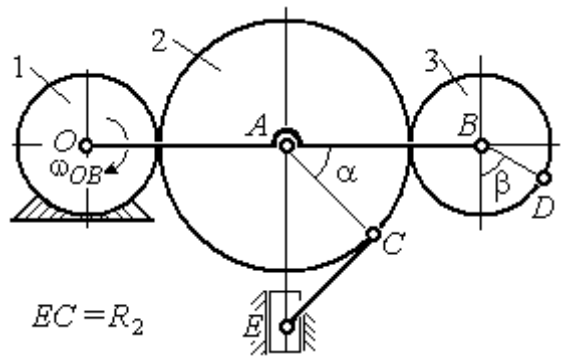
Номер варианта задания	R_1, см	r_1, см	AD, см	α, град	V_2, см/с	V_3, см/с	Номер варианта задания	R_1, см	OA, см	OE, см	α, град	β, град	V_C, см/с
1	10	5	20	30	8	10	**2**	3	5	4	30	60	10
11	12	8	25	45	10	4	**12**	4	8	6	45	90	8
21	10	6	15	60	5	5	**22**	5	12	2	60	120	12

Варианты № 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
 Найти: V_A, V_B, V_C, V_D, V_E, $\omega_{BC}, \omega_1, \omega_{DE}$	 Найти: V_A, V_C, V_E, $\omega_1, \omega_2, \omega_{AC}$

Номер варианта задания	R_1, см	OC, см	AB, см	BC, см	α, град	ω_{OC}, рад/с	Номер варианта задания	R_1, см	R_2, см	α, град	β, град	V_3, см/с	V_4, см/с
3	12	18	10	35	60	4	**4**	10	15	30	60	8	4
13	10	15	10	25	90	8	**14**	6	10	45	90	4	6
23	15	20	5	20	120	6	**24**	10	12	60	120	3	3

Рис. 2.6. Задание К2. Определение скоростей точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

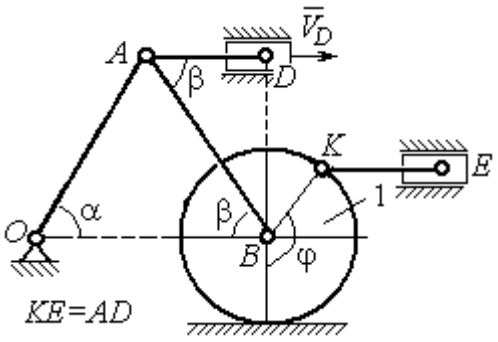
Варианты № 5, 15, 25



Найти: V_A, V_B, V_C, V_D, V_E, ω_2, ω_3, ω_{EC}

Номер варианта задания	R_1, см	R_2, см	R_3, см	α, град	β, град	ω_{OB}, рад/с
5	10	20	12	60	0	6
15	6	18	10	90	90	8
25	20	25	15	120	180	4

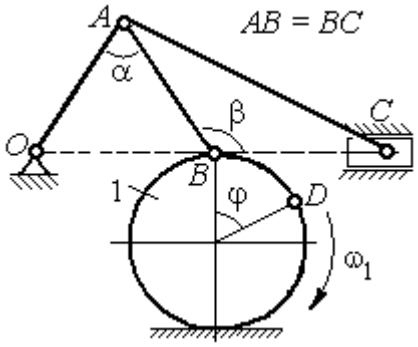
Варианты № 6, 16, 26



Найти: V_A, V_B, V_K, V_E, ω_1, ω_{OA}, ω_{AB}, ω_{AD}, ω_{KE}

Номер варианта задания	R_1, см	OA, см	α, град	β, град	φ, град	V_D, см/с
6	10	20	30	60	60	12
16	12	26	30	30	90	8
26	15	30	60	60	120	15

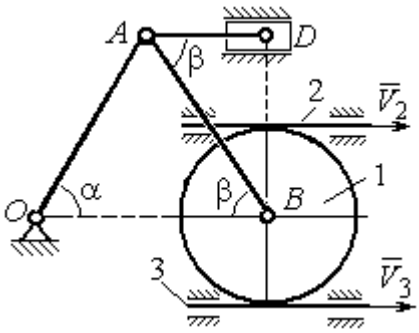
Варианты № 7, 17, 27



Найти: V_A, V_B, V_C, ω_1, ω_{OA}, ω_{AB}, ω_{AC}

Номер варианта задания	R_1, см	AB, см	α, град	β, град	φ, град	V_D, см/с
7	10	20	30	60	60	12
17	12	25	60	120	90	16
27	8	16	30	60	120	10

Варианты № 8, 18, 29

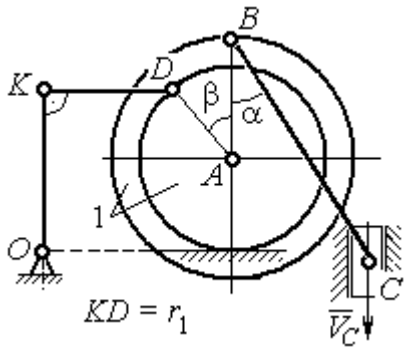
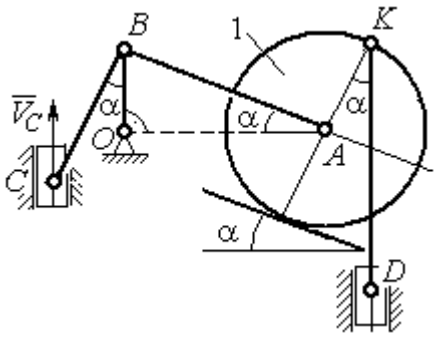


Найти: V_A, V_B, V_D, ω_1, ω_{OA}, ω_{AB}, ω_{AD}

Номер варианта задания	R_1, см	OA, см	α, град	β, град	V_2, см/с	V_3, см/с
8	10	20	30	60	12	4
18	12	26	30	30	8	2
28	15	30	60	60	6	3

Рис. 2.7. Задание К2. Определение скоростей точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 5 – 8, 15 – 18, 25 – 28

Окончание вариантов задания К2

Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
 Найти: ω_{OK}, ω_{KD}, ω_{BC}, ω_1, V_A, V_B, V_K, V_D	 Найти: V_A, V_B, V_D, V_K, ω_{CB}, ω_1, $\omega_{OB}, \omega_{AB}, \omega_{KD}$

Номер варианта задания	R_1, см	r_1, см	α, град	β, град	BC, см	V_C, см/с	Номер варианта задания	R_1, см	CB, см	OB, см	KD, см	α, град	V_C, см/с
9	20	12	45	60	60	8	**10**	10	20	30	60	30	4
19	24	16	60	90	50	4	**20**	12	26	30	50	45	2
29	16	10	30	120	40	6	**30**	15	30	60	60	60	3

Рис. 2.8. Задание К2. Определение скоростей точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 9 – 10, 19 – 20, 29 – 30

Пример выполнения задания К2. Определение скоростей точек твёрдого тела при плоскопараллельном движении

Задача 1. Плоский механизм (рис. 2.9) состоит из стержня OC и подвижных дисков 2 и 3 радиусами r_2, r_3, шарнирно закрепленными на стержне, соответственно, в точках A и C. Стержень OC вращается вокруг неподвижного центра O с угловой скоростью ω_{OC}. Диск 2, увлекаемый стержнем OC, катится без проскальзывания по неподвижной поверхности диска 1 радиусом r_1. Диск 3, также увлекаемый стержнем OC, катится без проскальзывания по подвижному диску 2. В точке D, расположенной на краю диска 3, шарнирно прикреплен стержень 4, к которому в точке E шарнирно

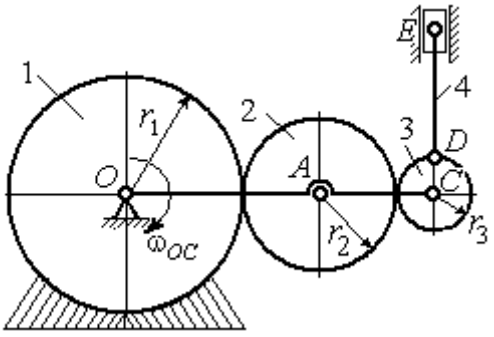


Рис. 2.9. Схема плоского механизма

прикреплен поршень *E*, способный совершать только вертикальное перемещение. Для заданного положения механизма (см. рис. 2.9), когда стержень *OC* горизонтален, стержень *DE* направлен по линии вертикального диаметра диска 3, найти скорости точек *A, C, D, E,* угловые скорости дисков 2, 3 и стержня 4, если: r_1 = 6 см, r_2 = 4 см, r_3 = 2 см, *DE* = 10 см, ω_{OC} = 1 рад/с.

Решение

Определим скорость точки *A*, общей для стержня *OC* и диска 2: $V_A = \omega_{OC}(r_1 + r_2)$ = 10 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ перпендикулярен стержню *OC* и направлен в сторону его вращения (рис. 2.10).

Диск 2 катится по неподвижной поверхности диска 1. Точка касания диска 2 с неподвижным диском 1 является мгновенным центром скоростей диска 2. На рис. 2.10 центр скоростей диска 2 обозначен точкой P_2. В этом случае скорость точки *A* может быть определена через угловую скорость диска ω_2 следующим образом: $V_A = \omega_2 \cdot AP_2 = 4\omega_2$. Так как V_A = 10 см/с, получим ω_2 = 2,5 рад/с.

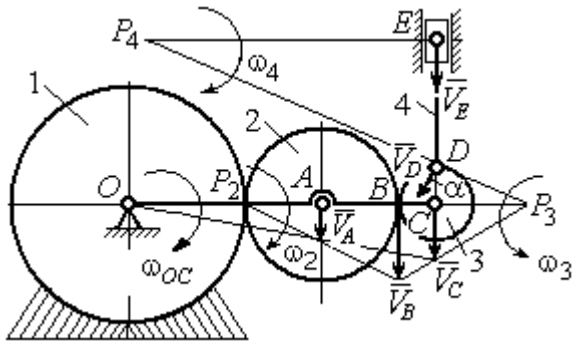


Рис. 2.10. Расчетная схема для определения скоростей точек механизма и угловых скоростей его звеньев

Для того чтобы найти угловую скорость диска 3, необходимо определить положение его мгновенного центра скоростей. С этой целью вычислим скорости точек *B* и *C*. Скорость точки *B* может быть найдена через угловую скорость диска 2: $V_B = \omega_2 \cdot BP_2$ = 20 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен отрезку BP_2 и направлен в сторону мгновенного вращения диска 2 вокруг своего центра скоростей P_2.

Скорость точки *C* определяется через угловую скорость стержня *OC*: $V_C = \omega_{OC}(r_1 + 2r_2 + r_3)$ = 16 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярен стержню *OC* и направлен в сторону его вращения (см. рис. 2.10).

Построение мгновенного центра скоростей P_3 диска 3 по известным скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ показано на рис. 2.10. Его положение определяется из условия, что отношение скоростей двух точек тела, совершающего плоскопараллельное движение, равно отношению расстояний от этих точек до мгновенного центра скоростей: $\frac{V_B}{V_C} = \frac{r_3 + CP_3}{CP_3}$. Разрешая пропорцию относительно неизвестной величины CP_3, получим: $CP_3 = 8$ см. Скорость точки C выражается через угловую скорость диска 3 $V_C = \omega_3 \cdot CP_3$. Отсюда величина угловой скорости диска 3: $\omega_3 = \frac{V_C}{CP_3} =$ 2 рад/с. Направление мгновенного вращения диска 3 вокруг своего центра скоростей определяется известными направлениями скоростей точек C и B, принадлежащих диску 3 (см. рис. 2.10). Скорость точки D $V_D = \omega_3 \cdot DP_3 = 2 \cdot \sqrt{2^2 + 8^2}$ = 16,5 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_D$ перпендикулярен отрезку DP_3 и направлен в сторону мгновенного вращения диска 3 вокруг центра P_3.

Для определения скорости поршня E воспользуемся теоремой о проекциях скоростей точек плоской фигуры, согласно которой проекции скоростей двух точек плоской фигуры на ось, проходящую через эти точки, равны между собой. Проведем ось через точки D и E. По построению, угол α между вектором $\vec{V}_D$ и осью DE равен углу $\angle DP_3C$ (см. рис. 2.10). Тогда, $\cos\alpha = \frac{CP_3}{DP_3} = \frac{8}{\sqrt{2^2 + 8^2}} = 0{,}97$, откуда $\alpha = 14^\circ$. На основании теоремы о проекциях скоростей точек плоской фигуры имеем равенство: $V_D \cos\alpha = V_E \cos 0$, откуда скорость точки E: V_E =16 см/с.

Мгновенный центр скоростей стержня 4 – точка P_4 – определяется как точка пересечения перпендикуляров к векторам скоростей $\vec{V}_D$ и $\vec{V}_E$, восстановленных, соответственно, из точек D и E (см. рис. 2.10). Угловая скорость стержня 4, совершающего мгновенный поворот вокруг своего центра скоростей, равна: $\omega_4 = \frac{V_E}{EP_4}$, где EP_4 – расстояние от точки E до мгновенного центра скоростей звена 4,

$EP_4 = DE \cdot \mathrm{ctg}\alpha$ = 40 см. В результате, ω_4 = 0,4 рад/с. Направление мгновенного вращения звена 4 вокруг своего центра скоростей определяется направлением скорости точки *D*.

Задача 2. В плоском стержневом механизме (рис. 2.11) кривошипы *OA* и *ED* вращаются вокруг неподвижных центров *O* и *E*. В крайней точке *D* кривошипа *ED* к нему прикреплён шатун *DB*, второй конец которого в точке *B* прикреплён к кривошипу *OA*. Шатун *AC* прикреплён в точке *A* к кривошипу *AO*, а другим своим концом – к ползуну *C*, способному совершать только вертикальное движение. Все соединения шарнирные. В заданном положении механизма кривошип *OA* вертикален, шатун *DB* расположен горизонтально, кривошип *ED* наклонен под углом 60° к горизонтали, а шатун *AC* отклонён на угол 30° от вертикального положения кривошипа *AO*. Найти скорости всех отмеченных на схеме точек и угловые скорости всех звеньев, если линейные размеры звеньев механизма *AC* = 6 см, *AB* = 2 см, *BO* = 8 см, *DB* = 10 см и скорость ползуна в данный момент V_C = 4 см/с.

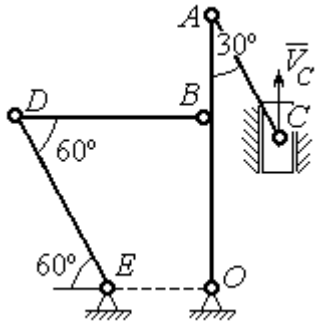


Рис. 2.11. Стержневой механизм

Решение

Кривошипы *OA* и *ED* совершают вращательные движения вокруг неподвижных центров. Скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ точек *A* и *B* перпендикулярны кривошипу *OA*, а скорость $\vec{V}_D$ точки *D* перпендикулярна кривошипу *ED*. Направления векторов скоростей точек показаны на рис. 2.12.

Шатун AC совершает плоскопараллельное движение. Его мгновенный центр скоростей P_1 находится как точка пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_C$. Угловая скорость звена AC равна $\omega_{AC} = \frac{V_C}{P_1C} = \frac{V_C}{AC \cdot \sin 30^\circ} = \frac{4}{3}$ рад/с. Далее, полагая, что точка A принадлежит шатуну AC, найдем её скорость:

$$V_A = \omega_{AC} \cdot P_1A = \frac{4}{3} AC \cdot \cos 30^\circ = 4\sqrt{3} \text{ см/с.}$$

Теперь, исходя из того, что точка A принадлежит как шатуну AC, так и кривошипу OA, найдём его угловую скорость: $\omega_{AO} = \frac{V_A}{AO} = 0{,}4\sqrt{3}$ рад/с. Скорость точки B кривошипа $V_B = \omega_{AO} \cdot OB = 3{,}2\sqrt{3}$ см/с.

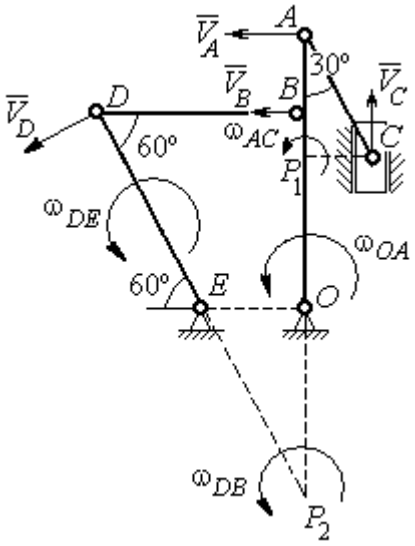


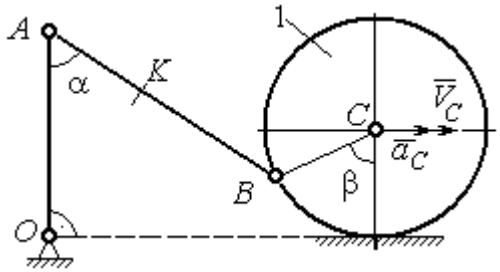
Рис. 2.12. Расчётная схема определения скоростей точек механизма и угловых скоростей его звеньев

Шатун DB совершает плоскопараллельное движение. Зная направления скоростей точек B и D, построим мгновенный центр скоростей P_2 звена DB как точку пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_D$ (см. рис. 2.12). Тогда, угловая скорость шатуна DB $\omega_{DB} = \frac{V_B}{P_2B} = \frac{3{,}2\sqrt{3}}{DB \cdot \operatorname{tg} 60^\circ} = 0{,}32$ рад/с. Скорость точки D $V_D = \omega_{DB} \cdot P_2D = 0{,}32 \frac{DB}{\sin 30^\circ} = 6{,}4$ см/с. Угловая скорость кривошипа DE $\omega_{DE} = \frac{V_D}{DE} = \frac{6{,}4}{(OB / \sin 60^\circ)} = 0{,}69$ рад/с.

2.6. Задание К3. Определение ускорений точек твёрдого тела при плоскопараллельном движении

Для заданного положения плоского механизма определить ускорения точек звеньев механизма и угловые ускорения звеньев. Варианты заданий и исходные данные приведены на рис. 2.13 – 2.15.

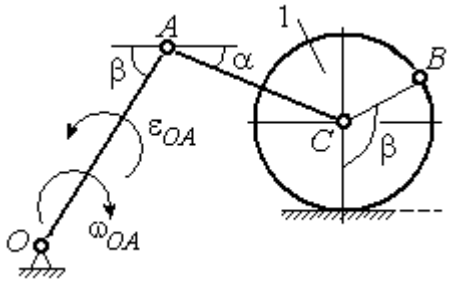
Варианты № 1, 11, 21



Найти: $a_A, a_K, \varepsilon_{AB}$

Номер варианта задания	AB, см	AK, см	α, град	β, град	R_1, см	V_C, см/с	a_C, см/с^2
1	16	10	60	120	10	12	6
11	20	16	30	60	8	10	8
21	18	10	60	180	6	8	4

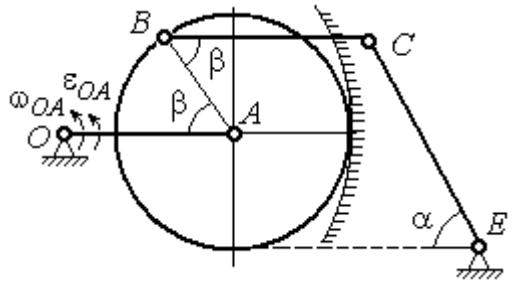
Варианты № 2, 12, 22



Найти: $a_C, a_B, \varepsilon_{AC}$

Номер варианта задания	R_1, см	OA, см	AC, см	α, град	β, град	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2
2	5	10	12	30	60	2	4
12	8	24	20	30	120	1	2
22	6	12	15	60	90	2	3

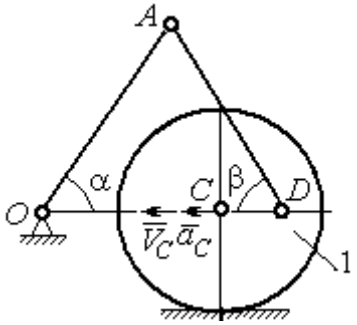
Варианты № 3, 13, 23



Найти: a_C, a_B, ε_{BC}

Номер варианта задания	BC, см	AO, см	α, град	β, град	R_1, см	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2
3	16	15	60	90	10	2	3
13	18	12	90	60	8	3	2
23	14	12	30	120	10	2	4

Варианты № 4, 14, 24

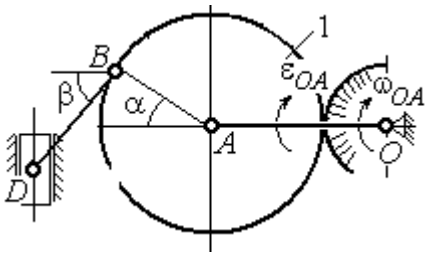


Найти: $a_A, a_D, \varepsilon_{DA}$

Номер варианта задания	R_1, см	OA, см	DC, см	α, град	β, град	V_C, см/с	a_C, см/с^2
4	10	28	5,78	60	30	10	2
14	8	24	4,62	30	90	8	3
24	6	20	6	45	45	12	2

Рис. 2.13. Задание К3. Определение ускорений точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

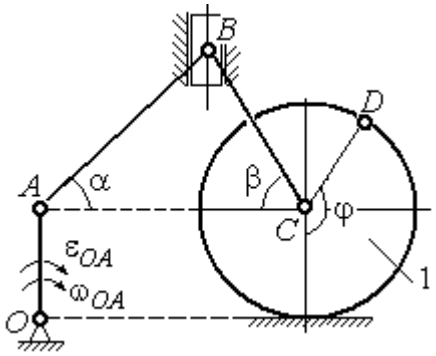
Варианты № 5, 15, 25



Найти: $a_D, a_B, \varepsilon_{BD}$

Номер варианта задания	*OA*, см	*BD*, см	α, град	β, град	R_1, см	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2
5	16	10	60	30	10	4	3
15	18	8	90	45	12	2	4
25	14	12	30	60	8	3	2

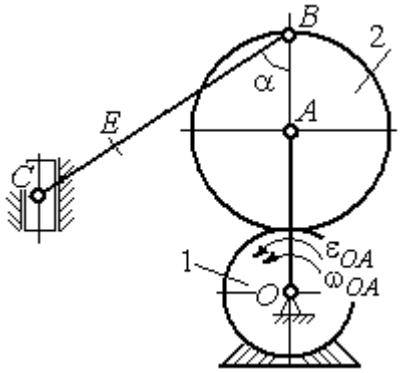
Варианты № 6, 16, 26



Найти: $a_B, a_D, \varepsilon_{BC}$

Номер варианта задания	R_1, см	*AB*, см	φ, град	α, град	β, град	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2
6	6	18	60	30	30	2	3
16	8	20	90	60	30	2	4
26	5	16	120	30	60	3	4

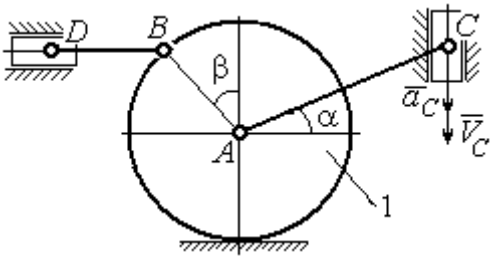
Варианты № 7, 17, 27



Найти: $a_E, a_C, \varepsilon_{BC}$

Номер варианта задания	*BC*, см	*BE*, см	α, град	R_1, см	R_2, см	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2
7	22	10	60	2	10	2	3
17	28	15	30	3	6	3	4
27	20	8	45	4	8	2	2

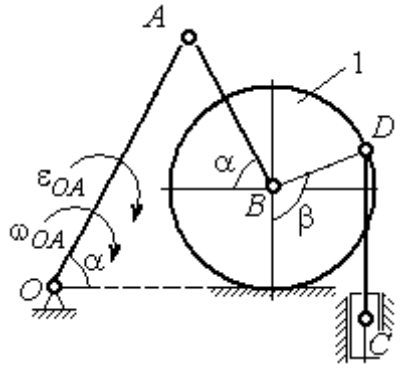
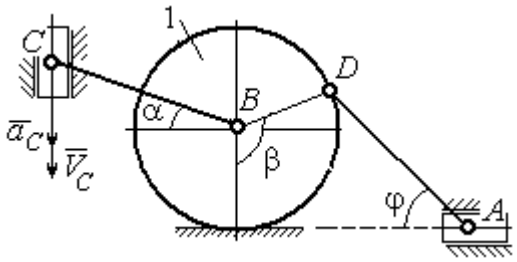
Варианты № 8, 18, 28



Найти: $a_D, a_B, \varepsilon_{BD}$

Номер варианта задания	R_1, см	*BD*, см	*AC*, см	α, град	β, град	V_C, см/с	a_C, см/с^2
8	4	5	12	60	60	12	5
18	6	10	16	45	90	10	8
28	8	8	16	30	120	8	6

Рис. 2.14. Задание К3. Определение ускорений точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 5 – 8, 15 – 18, 25 – 28

Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
 Найти: $a_C, a_B, \varepsilon_{AB}$	 Найти: $a_A, a_B, \varepsilon_{CB}$

Номер варианта задания	*OA*, см	*DC*, см	α, град	β, град	R_1, см	ω_{OA}, рад/с	ε_{OA}, рад/с^2	Номер варианта задания	R_1, см	*BC*, см	φ, град	α, град	β, град	V_C, см/с	a_C, см/с^2
9	18	10	30	120	4	2	3	**10**	6	14	60	30	120	15	3
19	20	12	60	60	6	3	4	**20**	5	18	45	60	90	10	5
29	18	8	60	90	4	2	3	**30**	4	16	30	45	60	12	4

Рис. 2.15. Задание К3. Определение ускорений точек тела при плоскопараллельном движении. Номера вариантов задания 9 – 10, 19 – 20, 29 – 30

Примеры решения задания К3. Определение ускорений точек тела при плоскопараллельном движении

Задача 1. Ступенчатый барабан 1 с радиусами ступенек $R = 0{,}5$ м и $r = 0{,}3$ м катится окружностью малой ступеньки по горизонтальной поверхности без скольжения (рис. 2.16). Барабан приводится в движение шатуном *AC*, один конец которого соединён с центром барабана в точке *A*, а другой – с ползуном *C*, перемещающимся вертикально. В положении механизма, когда шатун *AC* отклонён от вертикали на угол 60°, найти ускорение точки *B* барабана, лежащей на его горизонтальном диаметре, если заданы скорость и ускорение ползуна *C*: $V_C = 9$м/с, $a_C = 4$ м/с^2.

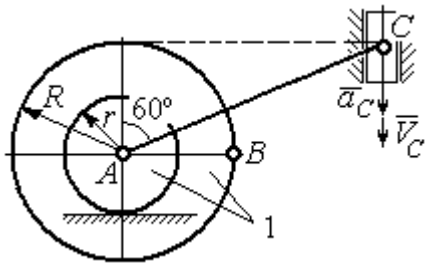


Рис. 2.16. Схема движения плоского механизма

Решение

Найдём угловые скорости ω_{AC}, ω_1 шатуна AC и барабана 1. Шатун совершает плоское движение. Его мгновенный центр скоростей P_2 находится на пересечении перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_C$ (рис. 2.17). По условию, скорость точки C направлена вертикально вниз. Точка A принадлежит как шатуну AC, так и барабану 1. При качении барабана по горизонтальной поверхности скорость его центра – точки A параллельна поверхности качения барабана.

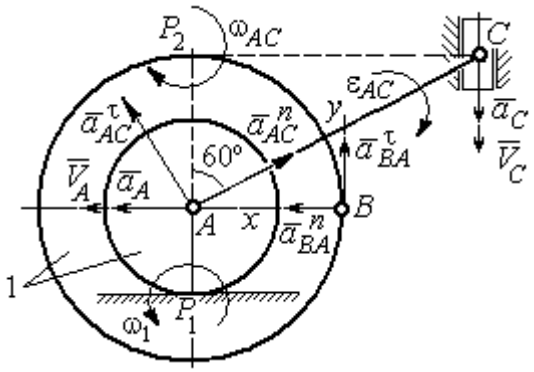


Рис. 2.17. Расчётная схема определения скоростей и ускорений точек механизма

Угловая скорость шатуна $\omega_{AC} = \dfrac{V_C}{CP_2} = \dfrac{9}{R\mathrm{tg}60^\circ} = 6\sqrt{3}$ рад/с. Скорость точки A шатуна $V_A = \omega_{AC} \cdot AP_2 = 3\sqrt{3}$ м/с. Угловая скорость барабана 1 $\omega_1 = \dfrac{V_A}{AP_1} = 10\sqrt{3}$ рад/с. При расчёте угловой скорости барабана учтено, что качение барабана по неподвижной поверхности представляет собой плоское движение, при котором мгновенный центр скоростей находится в точке касания с поверхностью (в точке P_1 на рис. 2.17).

Выразим ускорение $\vec{a}_A$ точки A через полюс C на основании векторного равенства: $\vec{a}_A = \vec{a}_C + \vec{a}_{AC}^{\tau} + \vec{a}_{AC}^{n}$, где $\vec{a}_C$ – ускорение точки C, выбранной в качестве полюса; $\vec{a}_{AC}^{\tau}$, $\vec{a}_{AC}^{n}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки A при вращении шатуна AC вокруг полюса C. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_{AC}^{n}$ направлен вдоль шатуна AC от точки A к полюсу C и равен по величине $a_{AC}^{n} = \omega_{AC}^2 \cdot AC = (6\sqrt{3})^2 \cdot 2R = 108$ м/с^2. Вектор касательного ускорения $\vec{a}_{AC}^{\tau}$, модуль которого вычисляется по формуле $a_{AC}^{\tau} = \varepsilon_{AC} \cdot AC$, направлен перпендикулярно отрезку AC.

На данном этапе величина вектора касательного ускорения не может быть вычислена, поскольку угловое ускорение шатуна AC ε_{AC} неизвестно. На рис. 2.17 направление вектора касательного ускорения $\vec{a}_{AC}^{\tau}$ выбрано из предположения, что

вращение шатуна ускоренное и направление углового ускорения совпадает с направлением его угловой скорости.

Направление вектора $\vec{a}_A$ ускорения точки A определяется из того, что центр барабана движется по прямой, параллельной горизонтальной поверхности качения. На рис. 2.17 направление вектора ускорения $\vec{a}_A$ выбрано из предположения, что качение барабана ускоренное.

Выберем ось x вдоль линии AC (рис. 2.18) и спроектируем векторное равенство $\vec{a}_A = \vec{a}_C + \vec{a}^{\tau}_{AC} + \vec{a}^{n}_{AC}$ на эту ось. При таком выборе оси проекция неизвестного ускорения $\vec{a}^{\tau}_{AC}$ обращается в нуль. Получим $a_A \cos 30^\circ = a_C \cos 60^\circ - a^n_{AC}$. Отсюда найдём ускорение центра барабана $a_A = \dfrac{1}{\cos 30^\circ}\left(a_C \cos 60^\circ - a^n_{AC}\right) = -122{,}4$ м/с^2. Отрицательное значение ускорения точки A означает, что на рис. 2.17, 2.18 вектор ускорения $\vec{a}_A$ должен иметь противоположное направление. Таким образом, вектор ускорения $\vec{a}_A$ направлен в сторону, противоположную вектору скорости $\vec{V}_A$, и движение барабана замедленное.

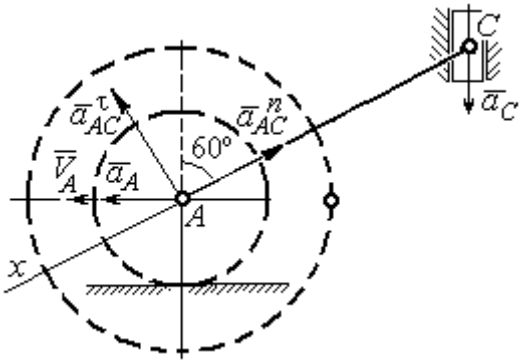


Рис. 2.18. Схема для определения ускорения центра барабана

Для того чтобы найти ускорение точки B, выразим его через полюс A на основании векторного равенства $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение точки A, выбранной в качестве полюса; $\vec{a}^{\tau}_{BA}$, $\vec{a}^{n}_{BA}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки B при вращении барабана вокруг полюса A.

Модуль вектора нормального ускорения $\vec{a}^{n}_{BA}$ равен по величине $a^n_{BA} = \omega_1^2 \cdot BA = (10\sqrt{3})^2 \cdot R = 150$ м/с^2. Вектор направлен вдоль радиуса барабана от точки B к полюсу A (см. рис. 2.17).

Модуль вектора касательного ускорения $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ вычисляется по формуле $a^{\tau}_{BA} = \varepsilon_1 \cdot BA$, где ε_1 – угловое ускорение барабана. Значение углового ускорения катящегося барабана (в отличие от углового ускорения ε_{AC} шатуна AC) может быть найдено. Расчёт основан на том, что при движении барабана расстояние AP_1 от точки A до центра скоростей барабана P_1 остаётся постоянным, равным r. Тогда выражение $V_A = \omega_1 \cdot AP_1 = \omega_1 \cdot r$ для расчёта скорости точки A можно продифференцировать. Получим $\frac{dV_A}{dt} = \frac{d\omega_1}{dt} \cdot r$. Так как точка A движется по прямой, производная от скорости точки равна её полному ускорению, а производная от угловой скорости барабана равна его угловому ускорению. Тогда имеем: $a_A = \varepsilon_1 \cdot r$, откуда находим угловое ускорение $\varepsilon_1 = \frac{a_A}{r} = 40{,}8$ рад/с^2, а затем и модуль вектора касательного ускорения $a^{\tau}_{BA} = \varepsilon_1 \cdot BA = 20{,}4$ м/с^2.

Заметим, что для вычисления углового ускорения ε_{AC} шатуна AC подобные рассуждения неприменимы. Формулу $V_A = \omega_{AC} \cdot AP_2$ невозможно продифференцировать, так как при движении механизма расстояние AP_2 от точки A до центра скоростей P_2 шатуна AC является неизвестной функцией времени.

Выберем систему координат xBy как показано на рис. 2.17, и спроецируем на эти оси векторное равенство $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$. Полагая, что движение барабана ускоренное (т. е. вектора ускорений $\vec{a}_A$ и $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ направлены, как показано на рис. 2.17), получим значения составляющих ускорения точки B: $a_{Bx} = a_A + a^{n}_{BA}$, $a_{By} = a^{\tau}_{BA}$. Подставляя значения ускорений, найдём $a_{By} = 20{,}4$ м/с^2, $a_{Bx} = -122{,}4 + 150 = 27{,}6$ м/с^2. Вектор полного ускорения точки B направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_{Bx}$, $\vec{a}_{By}$. Величина ускорения точки B: $a_B = \sqrt{a^2_{Bx} + a^2_{By}} = 34{,}32$ м/с^2.

Задача 2. В плоском механизме (рис. 2.19) кривошип *OA* вращается вокруг оси *O* с угловой скоростью ω_{OA} и угловым ускорением ε_{OA}. Диск 2, шарнирно присоединённый к кривошипу в точке *A*, катится без проскальзывания по неподвижному диску 1. Радиусы дисков R_1 и R_2. На краю диска 2 в точке *B* шарнирно прикреплен стержень *BC*, соединенный с центром *C* диска 3. Радиус диска 3 равен радиусу диска 2: $R_3 = R_2$. Диск 3 катится без скольжения по горизонтальной поверхности, по прямой. Для положения механизма, изображенного на рис. 2.19, определить ускорение точки *D* и угловое ускорение стержня *BC*, если $\omega_{OA} = 4$ рад/с, $\varepsilon_{OA} = 2$ рад/с^2, $R_1 = 4$ см, $R_2 = 8$ см. Длина стержня $BC = 20$ см.

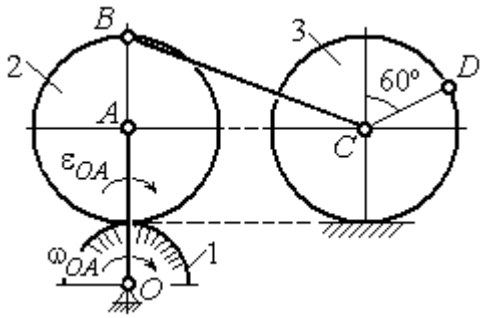


Рис. 2.19. Схема движения плоского механизма

Решение

Определение угловых скоростей звеньев механизма.

Рассмотрим вращательное движение кривошипа *OA*. Скорость точки *A*: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 48$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу *OA* в сторону движения кривошипа (рис. 2.20).

При движении диска 2 точка P_2 соприкосновения второго диска с неподвижным первым является мгновенным центром скоростей диска 2. Угловая скорость диска 2: $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} = \dfrac{48}{8} = 6$ рад/с.

Скорость точки *B* диска 2: $V_B = \omega_2 BP_2 = 6 \cdot 16 = 96$ см/с.

Для определения угловой скорости стержня BC заметим, что скорости двух точек стержня $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ параллельны, но точки B и C не лежат на общем перпендикуляре к скоростям. В этом случае мгновенный центр скоростей стержня BC отсутствует (бесконечно удалён), угловая скорость стержня равна нулю: $\omega_{BC} = 0$, а стержень совершает мгновенное поступательное движение. В результате имеем: $V_C = V_B = 96$ см/с.

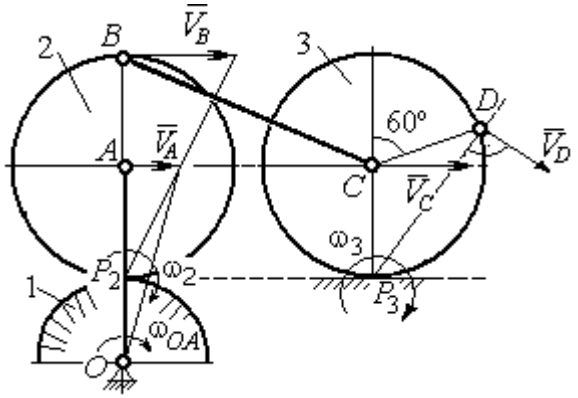


Рис. 2.20. Расчетная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

При качении диска 3 по неподвижной поверхности без проскальзывания точка P_3 касания его с поверхностью является мгновенным центром скоростей. Тогда угловая скорость диска 3: $\omega_3 = \dfrac{V_C}{CP_3} = 12$ рад/с. Скорость точки D диска 3: $V_D = \omega_3 \cdot DP_3$. Величину DP_3 находим из треугольника P_3DC. В результате $DP_3 = 2R_3\cos 30^\circ = 13{,}8$ см и $V_D = 165{,}6$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_D$ направлен в сторону движения диска 3 перпендикулярно линии DP_3 и (см. рис. 2.20).

Определение ускорений точек механизма.

Представим ускорение $\vec{a}_C$ точки C векторной суммой $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,n}_{CB} + \vec{a}^{\,\tau}_{CB}$, где $\vec{a}_B$ – ускорение точки B, выбранной в качестве полюса; $\vec{a}^{\,n}_{CB}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{CB}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки C при вращении стержня BC вокруг полюса B, $a^n_{CB} = \omega^2_{CB} \cdot CB$, $a^\tau_{CB} = \varepsilon_{CB} \cdot CB$.

Нормальная составляющая ускорения точки C $a^n_{CB} = 0$, так как стержень CB совершает мгновенное поступательное движение и $\omega_{BC} = 0$.

Направление касательной составляющей $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ неизвестно, так как неизвестно направление углового ускорения стержня ε_{CB}. Для определённости выберем направление углового ускорения стержня *BC* в сторону против хода часовой стрелки. На рис. 2.21 это направление показано дуговой стрелкой ε_{CB}.

В соответствии с выбранным направлением углового ускорения вектор $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ строится перпендикулярно линии стержня *BC* в сторону углового ускорения ε_{CB} (см. рис. 2.21).

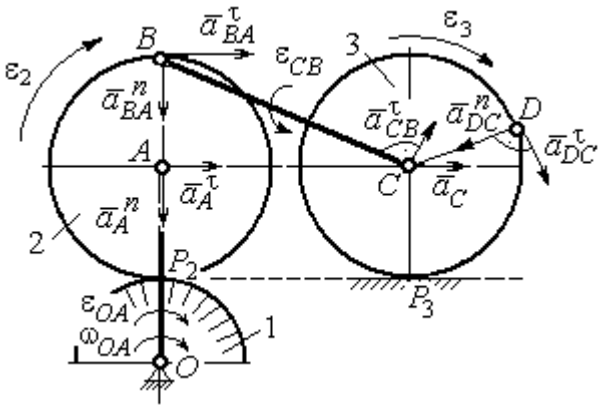


Рис. 2.21. Расчетная схема для определения ускорений точек механизма и угловых ускорений его звеньев

Выразим ускорение точки *B* через полюс *A*: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{n}_{BA} + \vec{a}^{\tau}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса *A*; $\vec{a}^{n}_{BA}$, $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки *B* при вращении диска 2 вокруг полюса *A*. Величина нормальной составляющей ускорения точки *B* $a^{n}_{BA} = \omega_2^2 \cdot BA$ = 288 см/с^2. Вектор $\vec{a}^{n}_{BA}$ направлен вдоль радиуса *BA* от точки *B* к полюсу *A* (см. рис. 2.21). Касательное ускорение точки *B* при вращении диска 2 вокруг полюса *A* вычисляется по формуле $a^{\tau}_{BA} = \varepsilon_2 \cdot BA$. Для определения углового ускорения ε_2 диска 2 заметим, что во время движения диска 2 расстояние AP_2 остается постоянным, равным R_2. Дифференцируя равенство $V_A = \omega_2 \cdot AP_2 = \omega_2 R_2$, получим: $\dfrac{dV_A}{dt} = \dfrac{d\omega_2}{dt} R_2$, или $a^{\tau}_A = \varepsilon_2 R_2$, откуда $\varepsilon_2 = \dfrac{a^{\tau}_A}{R_2}$.

Для того чтобы найти величину a^{τ}_A, рассмотрим вращательное движение кривошипа *OA* вокруг неподвижной оси *O*. Ускорение точки *A* представляется в виде векторного равенства $\vec{a}_A = \vec{a}^{n}_A + \vec{a}^{\tau}_A$, где $\vec{a}^{n}_A$ и $\vec{a}^{\tau}_A$ – известные нормальная и касательная составляющие ускорения точки *A* кривошипа *OA*:

$a_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA$ = 192 см/с², $a_A^\tau = \varepsilon_{OA} \cdot OA$ = 24 см/с². Направления векторов нормального ускорения $\vec{a}_A^{\,n}$ и касательного ускорения $\vec{a}_A^{\,\tau}$ показаны на рис. 2.21.

Теперь найдём величину углового ускорения диска 2 и модуль касательного ускорения a_{BA}^τ точки B при вращении диска 2 вокруг полюса A: $\varepsilon_2 = \dfrac{a_A^\tau}{R_2} =$ = 3 рад/с², $a_{BA}^\tau = \varepsilon_2 \cdot BA$ = 24 см/с².

Для определения ускорения точки C имеем векторное равенство $\vec{a}_C = \vec{a}_A^{\,n} + \vec{a}_A^{\,\tau} + \vec{a}_{BA}^{\,n} + \vec{a}_{BA}^{\,\tau} + \vec{a}_{CB}^{\,\tau}$. Выберем оси Cx, Cy, как показано на рис. 2.22, – вдоль отрезка BC и перпендикулярно ему и спроецируем на них имеющееся векторное равенство. Получим:

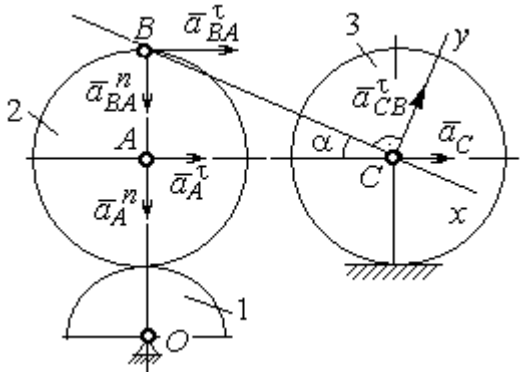


Рис. 2.22. Расчетная схема для вычисления ускорения точки С

$$a_C\cos\alpha = a_A^n\sin\alpha + a_A^\tau\cos\alpha + a_{BA}^n\sin\alpha + a_{BA}^\tau\cos\alpha;$$

$$a_C\sin\alpha = a_A^n\cos\alpha + a_A^\tau\sin\alpha + a_{BA}^n\cos\alpha + a_{BA}^\tau\sin\alpha + a_{CB}^\tau,$$

где α – угол между стержнем BC и линией центров AC; $\sin\alpha = \dfrac{AB}{BC}$ = 0,4; $\cos\alpha = 0{,}92$. Решая систему, найдём: a_C = 256,7 см/с², a_{CB}^τ = – 358,12 см/с².

Модуль углового ускорения стержня BC: $\varepsilon_{CB} = \dfrac{\left|a_{CB}^\tau\right|}{BC}$ = 17,9 рад/с².

Знак «минус» величины a_{CB}^τ означает, что вектор касательного ускорения $\vec{a}_{CB}^{\,\tau}$ на рис. 2.21 – 2.22 следует направить в противоположную сторону. Направление углового ускорения стержня BC, показанное на рис. 2.21 дуговой стрелкой ε_{CB}, также следует заменить на противоположное.

Выразим ускорение точки *D* через полюс *C*: $\vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}^n_{DC} + \vec{a}^\tau_{DC}$, где $\vec{a}_C$ – известное ускорение точки *C*; $\vec{a}^n_{DC}$, $\vec{a}^\tau_{DC}$ – нормальное и касательное составляющие ускорения точки *D* при вращении диска 3 вокруг полюса *C*. Величина нормального ускорения точки *D*: $a^n_{DC} = \omega_3^2 \cdot DC = 1152$ см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}^n_{DC}$ направлен по радиусу от точки *D* к полюсу *C* (рис. 2.23).

Для расчёта касательной составляющей a^τ_{DC} ускорения точки *D* найдём угловое ускорение диска 3. Продифференцируем по времени равенство $V_C = \omega_3 \cdot CP_3 = \omega_3 R_3$. Получим: $\frac{dV_C}{dt} = \frac{d\omega_3}{dt} R_3$, или $a_C = \varepsilon_3 R_3$. Угловое ускорение диска 3: $\varepsilon_3 = \frac{a_C}{R_3} = 32{,}09$ рад/с^2. Тогда величина касательной составляющей ускорения точки *D*: $a^\tau_{DC} = \varepsilon_3 \cdot DC = 256{,}7$ см/с^2. Направление вектора $\vec{a}^\tau_{DC}$ соответствует ускоренному движению диска 3.

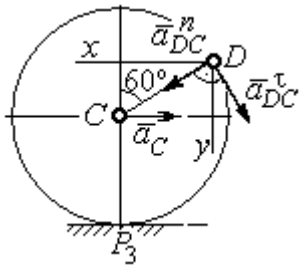


Рис.2.23. Расчетная схема для определения ускорения точки *D*

Проведём оси *Dx* и *Dy*, как показано на рис. 2.23, и спроецируем векторное равенство ускорения точки *D* на оси:

$$a_{Dx} = -a_C + a^n_{DC}\cos 30^\circ - a^\tau_{DC}\cos 60^\circ, \quad a_{Dy} = a^n_{DC}\cos 60^\circ + a^\tau_{DC}\cos 30^\circ.$$

Решая систему, находим значения проекций модуля ускорения $a_{Dx} = 612{,}5$ см/с^2, $a_{Dy} = 798{,}3$ см/с^2. Величина ускорения точки *D*:

$$a_D = \sqrt{a^2_{Dx} + a^2_{Dy}} = 1006{,}2 \text{ см/с}^2.$$

3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ

3.1. Основные понятия сложного движения точки

В неподвижной системе координат рассматривается подвижное твердое тело и точка, перемещающаяся относительно тела.

Траектория точки в её движении относительно тела называется **относительной траекторией.** Скорость точки в этом движении называют **относительной скоростью**, ускорение – **относительным ускорением**.

Траектория точки, перемещающейся вместе с телом, называется переносной траекторией точки, скорость точки при таком её движении – **переносной скоростью**, а ускорение – **переносным ускорением**.

Суммарное движение точки вместе с телом и относительно тела называется **сложным движением**. Траектория точки относительно неподвижной системы координат называется **абсолютной траекторией точки**, скорость и ускорение – **абсолютной скоростью и абсолютным ускорением.**

При вычислении абсолютной скорости используется теорема о сложении скоростей: **при сложном движении абсолютная скорость точки равна геометрической сумме относительной и переносной скоростей:** $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$, где $\vec{V}$, $\vec{V}_e$, $\vec{V}_r$ – вектора абсолютной, переносной и относительной скоростей точки.

В случае, когда относительное движение точки задается естественным способом в виде закона изменения пути $S = S(t)$, величина относительной скорости точки равна модулю производной: $V_r = \left|\dot{S}_r\right|$. Если переносное движение точки есть вращение тела вокруг неподвижной оси, скорость точки в переносном движении будет: $V_e = \omega_e h_e$, где ω_e – величина угловой скорости вращения тела; h_e – кратчайшее расстояние от места положения точки на теле до оси вращения тела.

При вычислении абсолютного ускорения используется теорема Кориолиса о сложении ускорений: **при сложном движении абсолютное ускорение точки равно геометрической сумме трех ускорений – относительного, переносного и ускорения Кориолиса** $\vec{a} = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_к$, где $\vec{a}$ – вектор абсолютного ускорения точки; $\vec{a}_e, \vec{a}_r$ – вектора соответственно переносного и относительного ускорений точки; $\vec{a}_к$ – вектор ускорения Кориолиса. (Иногда его называют поворотным ускорением.)

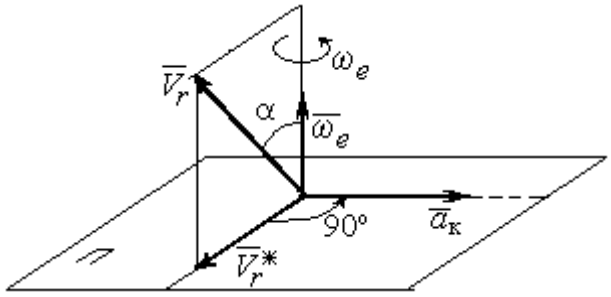


Рис. 3.1. Определение направления ускорения Кориолиса по правилу Жуковского

Вектор ускорения Кориолиса определяется векторным произведением $\vec{a}_к = 2(\vec{\omega}_e \times \vec{V}_r)$, где $\vec{\omega}_e$ – вектор угловой скорости переносного движения; $\vec{V}_r$ – вектор относительной скорости точки. Модуль ускорения Кориолиса: $|\vec{a}_к| = 2|\vec{\omega}_e| \cdot |\vec{V}_r| \sin\alpha$, где α – угол между вектором угловой скорости переносного движения и вектором относительной скорости точки (см. рис. 3.1). Направление вектора ускорения Кориолиса может быть получено по правилу построения вектора векторного произведения.

На рис. 3.1 показана последовательность выбора направления вектора ускорения Кориолиса по правилу Н. Е. Жуковского. Правило состоит в следующем: пусть имеется точка, движущаяся с относительной скоростью $\vec{V}_r$. Построим плоскость П, перпендикулярную вектору переносной угловой скорости $\vec{\omega}_e$, и спроецируем вектор $\vec{V}_r$ на эту плоскость. Проекцию обозначим $\vec{V}_r^*$ (см. рис. 3.1). Чтобы получить направление ускорения Кориолиса, следует вектор проекции относительной скорости $\vec{V}_r^*$ повернуть на 90° в плоскости П вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения.

Если сложное движение точки происходит в плоскости, перпендикулярной оси переносного вращения, направление ускорения Кориолиса можно получить

простым поворотом вектора относительной скорости на угол 90° вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения.

Относительное ускорение $\vec{a}_r$ представляется как сумма векторов относительного касательного $\vec{a}_r^{\tau}$ и относительного нормального $\vec{a}_r^{n}$ ускорений: $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\tau} + \vec{a}_r^{n}$. Переносное ускорение точки $\vec{a}_e$ тела имеет своими составляющими переносное касательное $\vec{a}_e^{\tau}$ и переносное нормальное $\vec{a}_e^{n}$ ускорения так, что $\vec{a}_e = \vec{a}_e^{\tau} + \vec{a}_e^{n}$.

Таким образом, абсолютное ускорение точки в сложном движении можно представить в виде векторного равенства

$$\vec{a} = \vec{a}_r^{\tau} + \vec{a}_r^{n} + \vec{a}_e^{\tau} + \vec{a}_e^{n} + \vec{a}_{\text{к}}.$$

Модули относительного касательного и относительного нормального ускорений при естественном способе задания относительного движения точки равны: $a_r^{\tau} = \left|\dot{V}_r\right|$, $a_r^{n} = \dfrac{V_r^2}{\rho}$, где ρ – радиус кривизны относительной траектории. При движении точки по окружности радиус кривизны равен радиусу окружности, при движении по прямой – бесконечности, и в этом случае $a_r^{n} = 0$.

При вращательном переносном движении точки значения переносного касательного и нормального ускорений вычисляются по формулам: $a_e^{\tau} = \varepsilon_e h_e$, $a_e^{n} = \omega_e^2 h_e$, где ε_e – угловое ускорение вращательного переносного движения, $\varepsilon_e = \left|\dot{\omega}_e\right|$; h_e – расстояние от точки до оси вращения тела; ω_e – величина угловой скорости вращения тела.

Вектора ускорений строятся по общим правилам построения векторов нормального и касательного ускорений.

При поступательном переносном движении ускорение Кориолиса и переносное нормальное ускорение равны нулю: $a_{\text{к}} = 0$, $a_e^{n} = 0$. Абсолютное ускорение точки при поступательном переносном движении можно представить в виде векторного равенства $\vec{a} = \vec{a}_r^{\tau} + \vec{a}_r^{n} + \vec{a}_e^{\tau}$.

3.2. Задание К4. Определение скорости и ускорения точки при сложном движении

Задание включает две задачи с вращательным и поступательным видами переносного движения точки.

Задача 1. Вращение тела относительно неподвижной оси задается законом изменения угла поворота: $\varphi_e = \varphi_e(t)$ или законом изменения его угловой скорости: $\omega_e = \omega_e(t)$. Движение точки относительно тела отсчитывается от её начального положения в точке C и задается законом изменения длины дуги окружности или отрезка прямой линии: $CM = S_r = S_r(t)$.

Определить абсолютные скорость и ускорение точки в заданный момент времени t_1.

Задача 2. Поступательное движение тела, несущего точку, задается законом изменения координаты $x_e = x_e(t)$. Движение точки относительно тела отсчитывается от её начального положения в точке C и задается законом изменения длины дуги окружности или отрезка прямой линии: $CM = y_r = y_r(t)$.

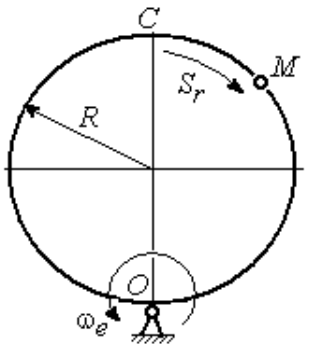
Определить абсолютные скорость и ускорение точки в момент времени t_2, который либо задаётся в исходных данных задачи, либо на схемеописаны условия, из которых он находится.

Номера вариантов заданий даны на рис. 3.2 – 3.5.

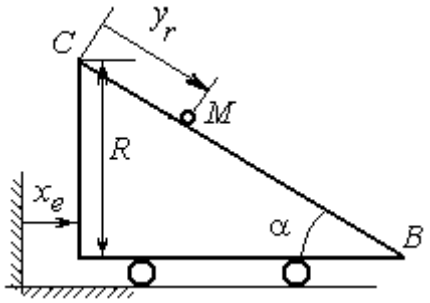
Варианты исходных данных приведены в табл. 3.1.

Варианты № 1, 11, 21

Задача 1



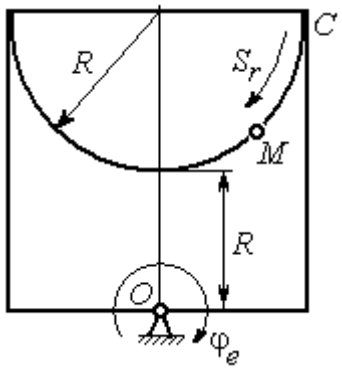
Задача 2



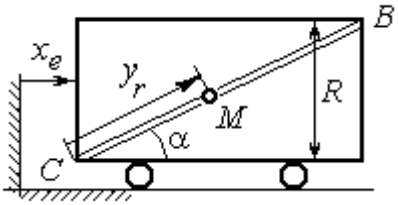
В момент $t = t_2$ точка M прошла половину пути CB

Варианты № 2, 12, 22

Задача 1



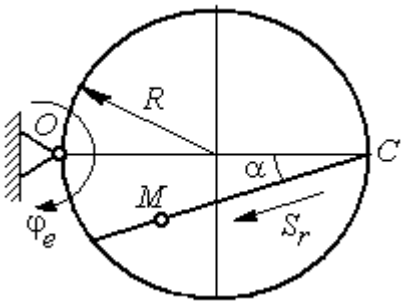
Задача 2



В момент $t = t_2$ точка M прошла 2/3 пути CB

Варианты № 3, 13, 23

Задача 1



Задача 2

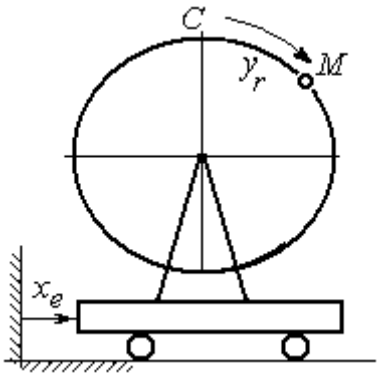
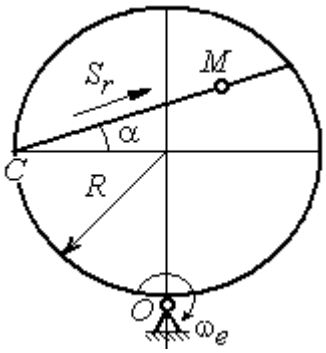


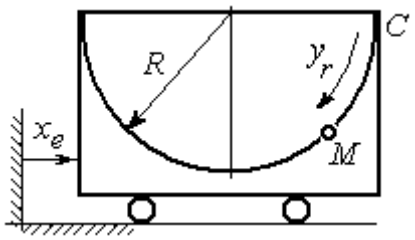
Рис. 3.2. Задание К4. Сложное движение точки.
Номера вариантов задания 1 – 3, 11 – 13, 21 – 23

Варианты № 4, 14, 24

Задача 1

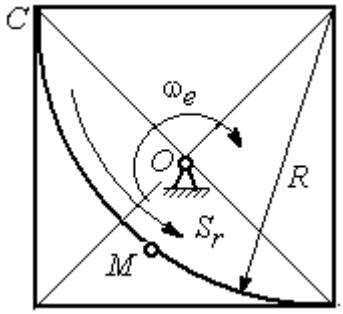


Задача 2

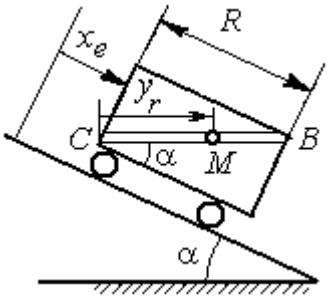


Варианты № 5, 15, 25

Задача 1



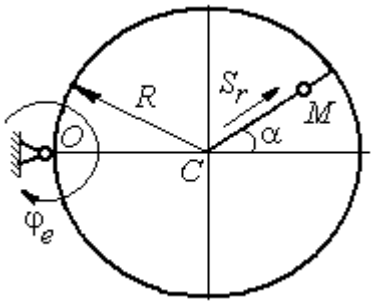
Задача 2



В момент $t = t_2$ точка *M* прошла путь *CB*

Варианты № 6, 16, 26

Задача 1



Задача 2

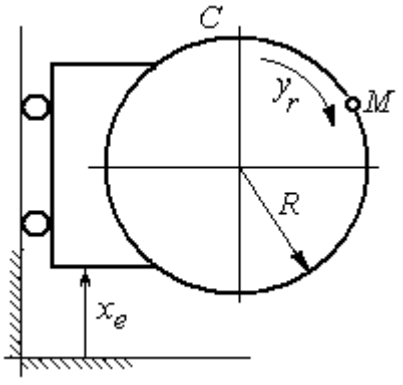
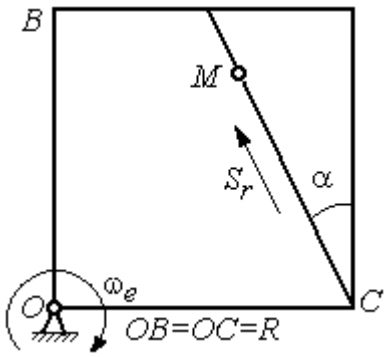


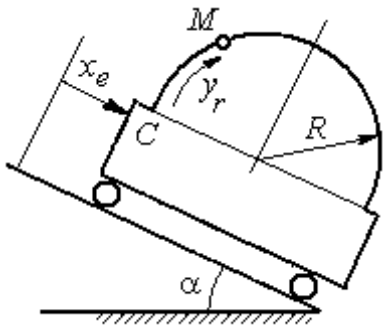
Рис. 3.3. Задание К4. Сложное движение точки.
Номера вариантов задания 4 – 6, 14 – 16, 24 – 26

Варианты № 7, 17, 27

Задача 1

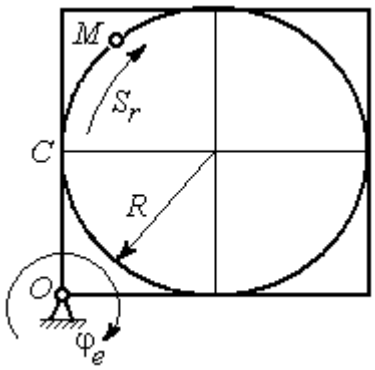


Задача 2

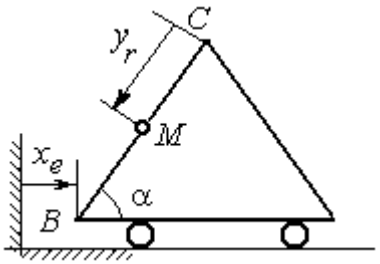


Варианты № 8, 18, 28

Задача 1



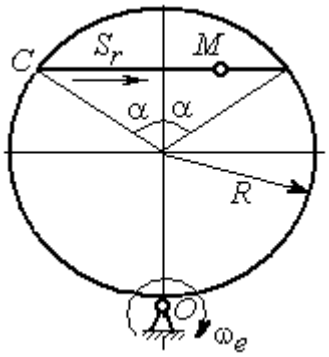
Задача 2



В момент $t = t_2$ точка M прошла половину пути $CB = R$

Варианты № 9, 19, 29

Задача 1



Задача 2

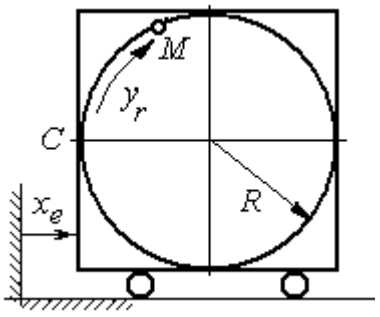


Рис. 3.4. Задание К4. Сложное движение точки.
Номера вариантов задания 7 – 9, 17 – 19, 27 – 29

Окончание вариантов задания К4

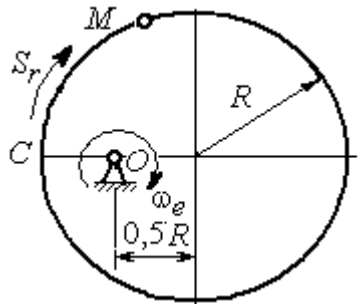
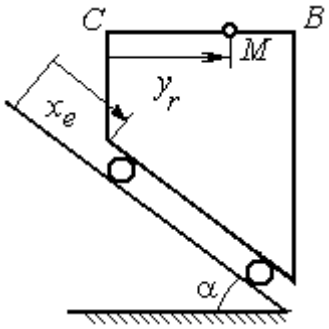
Варианты № 10, 20, 30	
Задача 1	Задача 2
	 В момент $t = t_2$ точка M прошла половину пути $CB = R$

Рис. 3.5. Задание К4. Сложное движение точки.
Номера вариантов задания 10, 20, 30

Таблица 3.1

Исходные данные для заданий по сложному движению точки

Номер варианта задания	Номер задачи	R, см	α, град	$C\breve{M} = S_r(t)$, см $C\breve{M} = y_r(t)$, см	$\varphi_e(t)$, рад; $\omega_e(t)$, рад/с $x_e(t)$, см	t_1, с t_2, с
1	1	3	–	$S_r = 2\pi\sin(\pi t/6)$	$\omega_e = 4t^2$	1
	2	4	30	$y_r = 4t^2$	$x_e = 2\cos(\pi t/6)$	–
2	1	2	–	$S_r = 4\pi\sin^2(\pi t/6)$	$\varphi_e = 6\cos(\pi t/3)$	1
	2	3	60	$y_r = t^2 + t$	$x_e = 1 + \cos(\pi t)$	–
3	1	4	30	$S_r = 2\sqrt{3}\left[t + \sin(\pi t/2)\right]$	$\varphi_e = 4t - t^2$	1
	2	6	–	$y_r = \pi\left[2t + \sin\pi t\right]$	$x_e = 5t - t^2$	1
4	1	4	60	$S_r = 2(t^3 + t)$	$\omega_e = 6\cos(\pi t/6)$	1
	2	3	–	$y_r = \pi\left[2t + \cos(\pi t/2)\right]$	$x_e = t^3 - 4t$	1
5	1	6	–	$S_r = 4\pi\sin^2(\pi t/6)$	$\omega_e = 6\cos(\pi t/3)$	1
	2	2	30	$y_r = t^2 + 2t$	$x_e = t^2 - 4t$	–
6	1	6	60	$S_r = t + 10\sin(\pi t/6)$	$\varphi_e = 2t^2 - 5t$	1
	2	3	–	$y_r = 4\pi\sin(\pi t/6)$	$x_e = \left[1 - \cos(\pi t/4)\right]$	1
7	1	8	30	$S_r = 2(t^3 + 3t)$	$\omega_e = 6\cos(\pi t/6)$	1
	2	4	30	$y_r = 2\pi t^2$	$x_e = t^3 - 5t$	1

Продолжение табл. 3.1

Номер варианта задания	Номер задачи	R, см	α, град	$CM = S_r(t)$, см $CM = y_r(t)$, см	$\varphi_e(t)$, рад; $\omega_e(t)$, рад/с $x_e(t)$, см	t_1, с t_2, с
8	1	8	–	$S_r = 2\pi\left[t^2 + \sin\pi t\right]$	$\varphi_e = t^2 - 5t$	2
	2	6	30	$y_r = t(t+1)$	$x_e = \cos\pi t$	–
9	1	8	30	$S_r = 2t^2$	$\omega_e = \cos(\pi t/8)$	2
	2	3	–	$y_r = 4\pi\sin^2(\pi t/4)$	$x_e = (3-2t)^2$	1
10	1	6	–	$S_r = \pi(2t^3 + \sin\pi t)$	$\omega_e = 5t - 2t^3$	1
	2	4	30	$y_r = t^2 + 2t$	$x_e = 1 + \cos\pi t$	–
11	1	6	–	$S_r = 8\pi\sin(\pi t/12)$	$\omega_e = 2 + \cos(\pi t/4)$	2
	2	6	60	$y_r = 4\sin\pi t$	$x_e = t^2 - 2t$	–
12	1	18	–	$S_r = \pi(2t^2 + 2t)$	$\varphi_e(t) = 3t - t^2$	2
	2	6	30	$y_r = 2t^2 + t$	$x_e = 1 + \cos(\pi t)$	–
13	1	10	60	$S_r = t^3 + t$	$\varphi_e = 6\cos(\pi t/6)$	2
	2	6	–	$y_r = 6\pi\cos(\pi t/3)$	$x_e = t(t+1)$	1
14	1	4	30	$S_r = 8\sqrt{3}\sin(\pi t/12)$	$\omega_e = (3-2t)^2$	2
	2	3	–	$y_r = 2\pi\sin(\pi t/6)$	$x_e = 2t^2 - 5t$	1
15	1	8	–	$S_r = 4\pi\sin^2(\pi t/4)$	$\omega_e = 2 + \cos(\pi t/4)$	1
	2	5	60	$y_r = 5t + t^2$	$x_e = \cos(\pi t/6)$	–
16	1	12	90	$S_r = 3\left[t + \sin(\pi t/2)\right]$	$\varphi_e = 2t - 3t^2$	1
	2	15	–	$y_r = \pi(4t + t^2)$	$x_e = 6\sin(\pi t/3)$	1
17	1	6	45	$S_r = 3\sqrt{2}\left[t^2 + 2\sin\pi t\right]$	$\omega_e(t) = 4t^2 - 6$	1
	2	6	60	$y_r = 8\pi\sin(\pi t/12)$	$x_e = \sqrt{2}\sin(\pi t/8)$	2
18	1	8	–	$S_r = 4\pi\sqrt{2}\sin(\pi t/8)$	$\varphi_e = 18t - 4t^2$	2
	2	8	60	$y_r = 3t + 2t^2$	$x_e = \sin\pi t$	–
19	1	8	60	$S_r = 2\sqrt{3}\left[t + \sin(\pi t/2)\right]$	$\omega_e = 5t - t^2$	1
	2	9	–	$y_r = 6\pi\cos(\pi t/3)$	$x_e = \cos(\pi t/6)$	1
20	1	4	–	$S_r = 4\pi\sin(\pi t/6)$	$\omega_e = 3t - 5$	1
	2	6	60	$y_r = 3t + 2t^2$	$x_e = \pi\sin\pi t$	–
21	1	3	–	$S_r = 4\pi\sqrt{2}\sin(\pi t/8)$	$\omega_e = 6t - 14$	2
	2	8	45	$y_r = (t^2 + 3t)$	$x_e = t + 2\sin\pi t$	–

Окончание табл. 3.1

Номер варианта задания	Номер задачи	R, см	α, град	$C\breve{M} = S_r(t)$, см $C\breve{M} = y_r(t)$, см	$\varphi_e(t)$, рад; $\omega_e(t)$, рад/с $x_e(t)$, см	t_1, с t_2, с
22	1	4	–	$S_r = 2\pi(t^2 + 2t)$	$\varphi_e = 6\cos(\pi t/6)$	1
	2	9	60	$y_r = 8\sin\pi t$	$x_e = 5t - t^2$	–
23	1	6	45	$S_r = 12\sin(\pi t/8)$	$\varphi_e = t^2 + \cos(\pi t/4)$	2
	2	6	–	$y_r = 6\pi[t + \sin(\pi t/6)]$	$x_e = 5t - t^2$	1
24	1	6	45	$S_r = 12\sin(\pi t/8)$	$\omega_e = t + 4\cos(\pi t/4)$	2
	2	6	–	$y_r = \pi(t^2 + 2t)$	$x_e = 6\cos(\pi t/6)$	1
25	1	6	–	$S_r = 2\pi t^2$	$\omega_e = 3\sin(\pi t/3)$	1
	2	4	45	$y_r = 2t(t + 3t)$	$x_e = 2(t^3 - 3t)$	–
26	1	6	120	$S_r = t^2 + t$	$\varphi_e = 12\cos(\pi t/12)$	2
	2	9	–	$y_r = \pi\sqrt{3}\sin(\pi t/3)$	$x_e = 2(t^2 - 3t)$	1
27	1	10	60	$S_r = \sqrt{3}(t^2 + t)$	$\omega_e = 6\cos(\pi t/6)$	2
	2	9	30	$y_r = \sqrt{3}\pi\sin(\pi t/3)$	$x_e = t + 4\cos(\pi t/4)$	1
28	1	2	–	$S_r = 6\pi\sin(\pi t/6)$	$\varphi_e = 2t + \cos(\pi t/2)$	1
	2	6		$y_r = 2t + 3t^2$	$x_e = t + \sin\pi t$	–
29	1	8	30	$S_r = (t^2 + 2t)$	$\omega_e = 6\sin(\pi t/12)$	2
	2	3	–	$y_r = 2\pi\sqrt{3}\sin(\pi t/3)$	$x_e = 5t - t^2$	1
30	1	2	–	$\pi(t^2 + 2t)$	$\omega_e(t) = 6\cos(\pi t/6)$	1
	2	3	60	$y_r = t + t^2$	$x_e = t + \sin\pi t$	–

Пример выполнения задания К4. Сложное движение точки

Задача 1. Фигура, состоящая из половины диска и равнобедренного треугольника (рис. 3.6), вращается вокруг оси, перпендикулярной плоскости фигуры и проходящей через вершину *A* треугольника. Вращательное движение задается законом изменения угла поворота фигуры $\varphi_e = 5t - 2t^2$ рад.

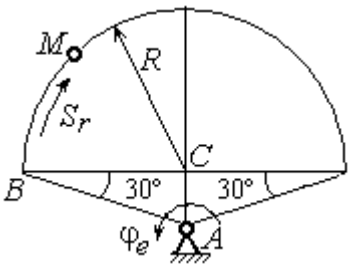


Рис. 3.6. Схема сложного движения точки

Положительное направление вращения отмечено на схеме дуговой стрелкой φ_e. По ободу диска от точки *B* движется точка *M*. Движение точки относительно диска задается законом изменения длины дуги окружности: $\overset{\cup}{BM} = S_r = 9\pi t^2$ см. Положительное направление движения точки *M* на рис. 3.6 показано дуговой стрелкой S_r. Радиус диска R = 9 см.

Найти абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки *M* в момент времени t_1 = 1с.

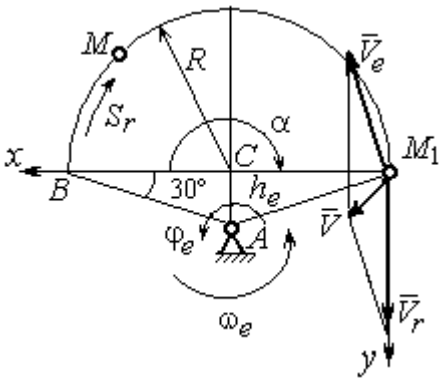


Рис. 3.7. Расчетная схема для вычисления абсолютной скорости точки при сложном движении

Решение

Вращение фигуры будет для точки *M* переносным движением. Относительное движение точки *M* – её движение по окружности обода диска.

Для определения **положения точки** *M* на ободе диска вычислим расстояние, которое она прошла на заданный момент времени. Длина дуги окружности, пройденной точкой за 1 с: $S_r(1) = 9\pi$ см. Положение точки *M* определяется центральным углом $\alpha = \dfrac{S_r(1)}{R} = \dfrac{9\pi}{9} = \pi$. Положение точки в момент времени t_1 = 1 с отмечено на рис. 3.7 точкой M_1.

Для определения **скорости переносного движения** точки вычисляем значение производной: $\dot{\varphi}_e = 5 - 4t$. Угловая скорость вращения фигуры: $\omega_e = |\dot{\varphi}_e|$. При t_1 = 1 с $\dot{\varphi}_e(1) = 1$ рад/с. Положительная величина производной $\dot{\varphi}_e(1)$ показывает,

что вращение фигуры в данный момент происходит в положительном направлении, что отмечено дуговой стрелкой ω_e на рис. 3.7.

В момент времени t_1 = 1 с точка M находится в положении M_1. Скорость V_e переносного движения точки в момент времени t_1 = 1 с $V_e(1) = \omega_e(1)h_e$, где расстояние от точки M_1 до оси вращения фигуры $h_e = AM_1 = \dfrac{R}{\cos 30^\circ} = 6\sqrt{3}$ см. Тогда $V_e(1) = 6\sqrt{3}$ см/с.

Вектор скорости переносного движения точки $\vec{V}_e$ перпендикулярен линии AM_1 и направлен в сторону вращения фигуры (см. рис. 3.7).

Относительное движение точки задано естественным способом, как закон изменения длины дуги BM. В этом случае **скорость относительного движения** точки $V_r = \left|\dot{S}_r\right| = \left|18\pi t\right|$. При t_1 = 1 с $V_r(1) = \left|\dot{S}_r(1)\right|$ = 18π = 56,5 см/с. Положительное значение производной $\dot{S}_r(1)$ указывает, что относительное движение точки в положении M_1 происходит в положительном направлении, указанном на рис. 3.7 дуговой стрелкой S_r. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости точки в положении M_1 направлен по касательной к траектории относительного движения в сторону положительного направления движения (см. рис. 3.7).

Абсолютную скорость точки находим по теореме сложения скоростей $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Направление вектора абсолютной скорости, полученное по правилу сложения векторов, показано на рис. 3.5. Для определения величины абсолютной скорости выбираем прямоугольные оси координат M_1xy (см. рис. 3.7) и проецируем обе части векторного равенства теоремы сложения скоростей на эти оси. Получим:

$$V_x = V_e\cos 60^\circ = 3\sqrt{3} = 5{,}2 \text{ см/с};$$

$$V_y = -V_e\cos 30^\circ + V_r = -6\sqrt{3}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + 56{,}5 = 29{,}5 \text{ см/с}.$$

Модуль абсолютной скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{5{,}2^2 + 29{,}5^2}$ = 29,95 см/с.

Абсолютное ускорение точки определяем по теореме Кориолиса, которая при вращательном переносном движении имеет вид:

$$\vec{a} = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_{\text{к}}.$$

Относительное касательное ускорение a_r^{τ} вычисляется по формуле: $a_r^{\tau} = \left|\ddot{S}_r\right|$. По условию задачи вторая производная $\ddot{S}_r = 18\pi$ = 56,5 см/с^2 – постоянная величина. Так как значение второй производной $\ddot{S}_r$ положительно, вектор ускорения $\vec{a}_r^{\,\tau}$ направлен по касательной к траектории относительного движения в точке M_1 в сторону положительного направления относительного движения, отмеченного дуговой стрелкой S_r.

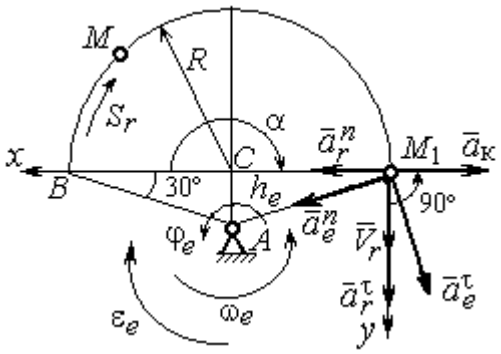


Рис. 3.8. Расчетная схема для определения абсолютного ускорения точки

Относительное нормальное ускорение точки вычисляется по формуле $a_r^n = \dfrac{V_r^2}{R}$ и в момент $t_1 = 1$ с равно: $a_r^n(1) = \dfrac{V_r^2(1)}{R} = \dfrac{(18\pi)^2}{9}$ = 355,3 см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_r^{\,n}$ направлен по радиусу диска к центру C (см. рис. 3.8).

Переносное касательное ускорение вычисляется по формуле: $a_e^{\tau} = \varepsilon_e h_e$, где угловое ускорение $\varepsilon_e = \left|\ddot{\varphi}_e\right|$. Вычислим производную $\ddot{\varphi}_e = -4$ рад/с^2. Угловое ускорение $\varepsilon_e = \left|\ddot{\varphi}_e\right|$ = 4 рад/с^2 постоянно и не зависит от времени.

Отрицательное значение производной $\ddot{\varphi}_e < 0$ при условии, что расчетная величина угловой скорости положительна: $\dot{\varphi}_e > 0$, означает, что вращательное движение замедленное и переносное угловое ускорение ε_e направлено в сторону, противоположную направлению вращения.

Вектор $\vec{a}_e^{\,\tau}$ переносного касательного ускорения точки в её положении M_1 перпендикулярен линии AM_1 и направлен противоположно вектору переносной

скорости $\vec{V}_e$ (см. рис. 3.8). Модуль переносного касательного ускорения: a_e^τ = $a_e^\tau = \varepsilon_e h_e = 24\sqrt{3}$ = 41,6 см/с^2.

Переносное нормальное ускорение a_e^n рассчитывается по формуле: $a_e^n = \omega_e^2 h_e$ и в момент времени t_1 = 1 с $a_e^n(1) = \omega_e^2(1) h_e$ = $6\sqrt{3}$ = 10,4 см/с^2. Вектор переносного нормального ускорения $\vec{a}_e^{\,n}$ направлен по линии AM_1 к оси вращения (см. рис. 3.8).

По условию задачи вектор скорости относительного движения точки $\vec{V}_r$ лежит в плоскости, перпендикулярной оси переносного вращения, то есть перпендикулярен вектору угловой скорости переносного движения $\vec{\omega}_e$. Тогда модуль **ускорения Кориолиса** при t_1 = 1 с $a_к = 2\omega_e V_r$ = $2 \cdot 1 \cdot 18\pi$ = 113,1 см/с^2.

Так как вектор относительной скорости точки $\vec{V}_r \perp \vec{\omega}_e$, то по правилу Жуковского для определения направления ускорения Кориолиса достаточно повернуть вектор относительной скорости точки $\vec{V}_r$ на 90° в сторону переносного движения вокруг оси, параллельной оси вращения и проходящей через точку M_1 (см. рис. 3.8). Для определения абсолютного ускорения спроецируем на прямоугольные оси xM_1y (см. рис. 3.8) векторное равенство $\vec{a} = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_к$. Получим: $a_y = a_e^\tau \cos 30^\circ + a_e^n \cos 60^\circ + a_r^\tau$ = 97,9 см/с^2,

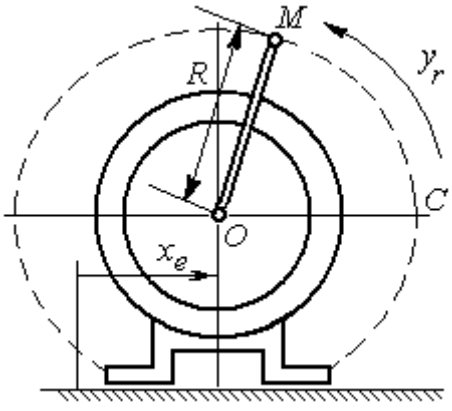


Рис. 3.9. Схема движения точки стержня, укреплённого на электромоторе

$a_x = -a_e^\tau \cos 60^\circ + a_e^n \cos 30^\circ + a_r^n - a_к$ =228,4 см/с^2. Модуль абсолютного ускорения: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ = 248,5 см/с^2.

Задача 2. К вращающемуся валу электромотора прикреплён стержень OM длины R = 6 см. Во время работы электромотора точка M стержня из начального положения C перемещается по дуге окружности согласно уравнению $CM = y_r = \pi t^2$ см.

При этом электромотор, установленный без креплений, совершает горизонтальные гармонические колебания на фундаменте по закону $x_e = 5\sin(\pi t/3)$ см. Определить абсолютное ускорение точки M в момент времени $t_1 = 1$ с.

Решение

Точка M совершает сложное движение – относительно электромотора и вместе с ним. Относительным движением точки будет её движение по дуге окружности радиуса R, переносным – поступательное горизонтальное, прямолинейное движение электромотора.

Найдём положение точки относительно электродвигателя в заданный момент времени. Угол α, отсчитываемый стержнем OM от начального положения OC, в момент времени $t_1 = 1$ с составляет $\alpha = \dfrac{y_r(t_1)}{R} = \dfrac{\pi}{6} = 30°$. Положение точки в момент времени $t_1 = 1$ с отмечено на рис. 3.10 буквой M_1.

Относительное движение точки задано естественным способом, как закон изменения длины дуги. Относительная скорость $V_r = \dot{y}_r = 2\pi t$. В момент времени $t_1 = 1$ с $V_r =$ 6,28 см/с. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости направлен перпендикулярно стержню OM_1.

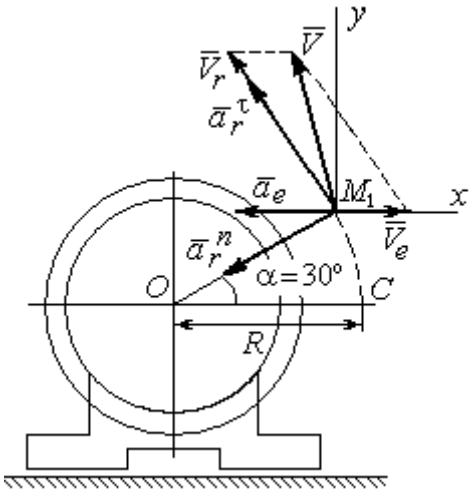


Рис. 3.10. Расчётная схема вычисления абсолютной скорости и абсолютного ускорения точки

Скорость точки в переносном движении – это скорость горизонтального движения электродвигателя:

$$V_e = \dot{x}_e = \frac{5\pi}{3}\cos(\pi t/3).$$

В момент времени $t_1 = 1$с $V_e = \dfrac{5\pi}{3}\cos 60^\circ =$ 2,62 см/с. Вектор $\vec{V}_e$ переносной скорости точки M направлен параллельно линии движения электродвигателя (см. рис. 3.10).

Абсолютная скорость точки определяется на основании теоремы сложения скоростей при сложном движении: $\vec{V}_M = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Для того чтобы найти величину

абсолютной скорости, выберем оси xM_1y, как показано на рис. 3.10, и спроецируем векторное равенство сложения скоростей на эти оси. Получим: $V_{Mx} = V_e - V_r\cos 60^\circ$ = – 0,52 см/с (проекция направлена в отрицательную сторону оси x), $V_{My} = V_r\cos 30^\circ$ = 5,44 см/с. Модуль абсолютной скорости $V_M = \sqrt{V_{Mx}^2 + V_{My}^2}$ = 5,46 см/с. Вектор абсолютной скорости направлен по диагонали параллелограмма, построенного на векторах $\vec{V}_e$ и $\vec{V}_r$.

При поступательном переносном движении точки ω_e = 0 и потому $a_к$ = 0. Относительное ускорение точки при движении по окружности раскладывается на две составляющие $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n}$, направленные вдоль стержня OM и перпендикулярно ему. Кроме того, при прямолинейном относительном движении a_e^n = 0. В результате, теорема о сложении ускорений принимает вид $\vec{a}_M = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_e$, где модули векторов вычисляются по формулам $a_r^\tau = \dot{V}_r$, $a_r^n = \dfrac{V_r^2}{R}$, $a_e = a_e^\tau = \dot{V}_e$ = $-\dfrac{5\pi^2}{9}\sin(\pi t/3)$ и в момент времени $t_1 = 1$с равны a_r^τ = 6,28 см/с^2, a_r^n = 6,57 см/с^2, a_e = – 4,75 см/с^2. Направления векторов ускорений показаны на рис. 3.10. Для вычисления модуля абсолютного ускорения точки спроецируем векторное равенство сложения ускорений на оси выбранной ранее системы координат xM_1y. Получим:

$$a_{Mx} = -a_r^\tau\cos 60^\circ - a_r^n\cos 30^\circ - a_e = -4{,}08 \text{ см/с}^2;$$

$$a_{My} = a_r^\tau\cos 30^\circ - a_r^n\cos 60^\circ = 2{,}15 \text{ см/с}^2.$$

Величина абсолютного ускорения $a_M = \sqrt{a_{Mx}^2 + a_{My}^2}$ = 4,61 см/с^2.

4. ДИНАМИКА ТОЧКИ

4.1. Дифференциальные уравнения движения точки

Движение точки под действием системы сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, …, $\vec{F}_K$ в прямоугольной декартовой системе координат *Oxyz* описывается **дифференциальными уравнениями:** $m\frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}$, $m\frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}$, $m\frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz}$ или, обозначая вторые производные от координат по времени двумя точками, уравнениями: $m\ddot{x} = \sum F_{kx}$, $m\ddot{y} = \sum F_{ky}$, $m\ddot{z} = \sum F_{kz}$, где m – масса точки; x, y, z – текущие координаты точки; $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ – проекции вектора ускорения точки на оси координат; $\sum F_{kx}$, $\sum F_{ky}$, $\sum F_{kz}$ – алгебраические суммы проекций сил на оси координат.

Интегрирование дифференциальных уравнений производится в зависимости от их вида методами, известными из курса математики.

4.2. Задание Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки

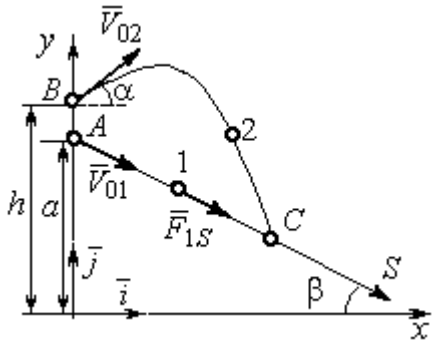
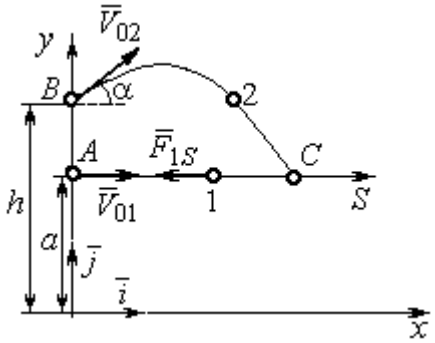
Две материальные точки движутся в вертикальной плоскости *xOy*. Точка 1 массой m_1, получив в начальном положении *A* скорость V_{01}, движется вдоль гладкой оси *AS*, наклоненной под углом β к горизонту. Во время движения на точку 1 действуют сила тяжести и постоянная сила $\vec{F}_1$, направленная вдоль оси *AS*. Направление вектора проекции силы на ось $\vec{F}_{1S}$ показано на схеме.

Одновременно с точкой 1 начинает движение точка 2 массой m_2 из положения *B* на оси *y*. На точку 2 действуют сила тяжести и постоянная сила $\vec{F}_2$. Направление вектора силы $\vec{F}_2$ определяется его разложением по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ координатных осей *x*, *y*.

Определить величину и направление (угол α) начальной скорости V_{02} точки 2, чтобы в момент времени t_1 точки 1 и 2 встретились на оси *AS* в точке *C*.

Момент времени t_1 задаётся в условиях задачи или определяется по дополнительным условиям встречи.

Варианты заданий представлены на рис. 4.1, 4.2. Исходные данные приведены в табл. 4.1.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
 Встреча в точке C в момент, когда скорость точки 1 увеличилась в 1,5 раза относительно начальной	 Встреча в точке C в момент, когда точка 1 максимально удалилась от места старта

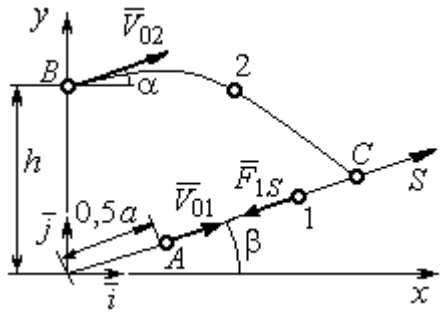
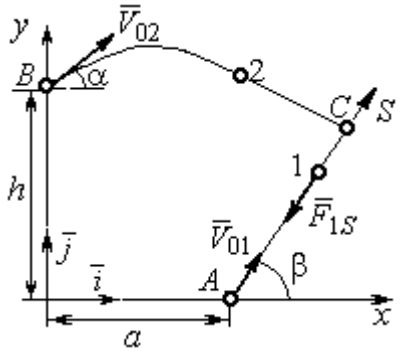
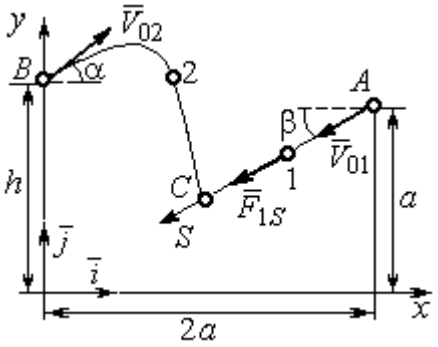
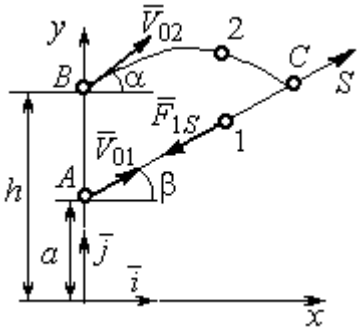
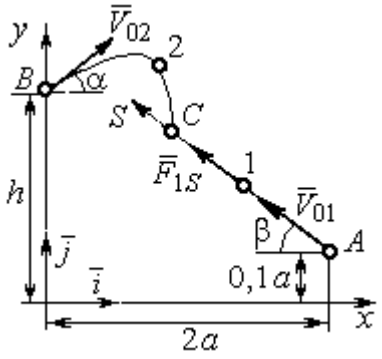
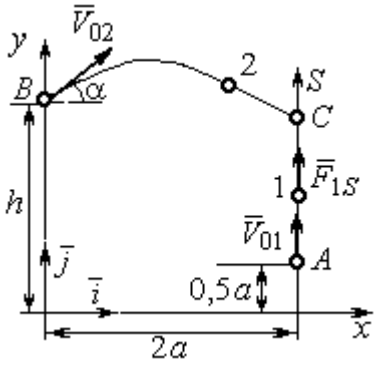
Варианты № 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
 Встреча в точке C в момент, когда скорость точки 1 уменьшилась в 2 раза относительно начальной	 Встреча в точке C в момент времени $t_1 = 0{,}5$ с

Рис. 4.1. Задание Д1. Интегрирование уравнений движения точки.
Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	
Встреча в точке *C* в момент, когда скорость точки 1 увеличилась в 1,5 раза относительно начальной	Встреча в точке *C*, когда точка 1 максимально удалилась от места старта

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	
Встреча в точке *C* в момент времени $t_1 = 0{,}4$ с	Встреча в точке *C* в момент максимального подъёма точки 1

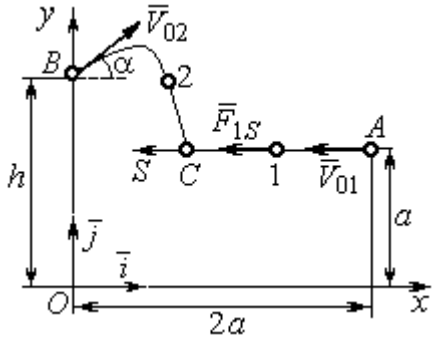
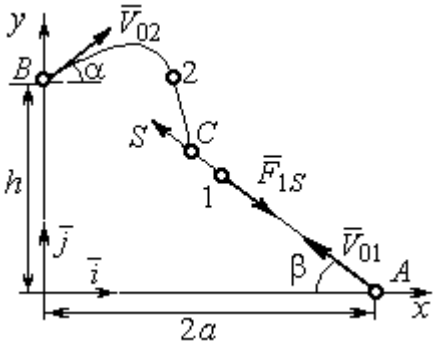
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	
Встреча в точке *C* в момент времени $t_1 = 0{,}6$ с	Встреча в точке *C* в момент, когда точка 1 достигла максимальной высоты подъёма

Рис. 4.2. Задание Д1. Интегрирование уравнений движения точки.
Номера вариантов задания 5 – 10, 15 – 20, 25 – 30

Таблица 4.1

Исходные данные задания Д1. Интегрирование уравнений движения точки

Номер варианта задания	m_1, кг	F_{1S}, Н	V_{01}, м/с	β, град	m_2, кг	$\vec{F}_2$, Н	a, м	h, м
1	1	3	3	30	2	$7\vec{i}$	2	4
2	3	6	2	0	2	$4\vec{i}+12\vec{j}$	1,5	1
3	2	5	4	35	1,5	$10\vec{i}+4\vec{j}$	2	2,5
4	1	10	2	60	2	$4\vec{i}+8\vec{j}$	2,2	2
5	1	3	3	30	2	$5\vec{i}$	3	4,5
6	0,8	6	6	50	3	$3\vec{i}+12\vec{j}$	1,5	4
7	2	5	4,5	40	1	$10\vec{i}+2\vec{j}$	3	2,5
8	1	2	3,5	90	2	$6\vec{i}+8\vec{j}$	1,2	2
9	2	4	4	0	1	$3\vec{i}+2\vec{j}$	2	2,5
10	1	3	3	55	1,5	$4\vec{i}$	1	1,5
11	0,5	2	3	60	2	$3\vec{i}+8\vec{j}$	1,5	2,5
12	0,2	3	4	0	1	$5\vec{i}-2\vec{j}$	1	2,5
13	1	2	6	50	1,5	$6\vec{i}-4\vec{j}$	0,8	2
14	0,5	6	4	35	1	$3\vec{i}-2\vec{j}$	2,5	2
15	0,2	3	3	50	2	$2\vec{i}-2\vec{j}$	3	4
16	2	4	6	40	2	$3\vec{i}+12\vec{j}$	1	1,5
17	1	6	5	60	1,5	$5\vec{i}+4\vec{j}$	3	2,5
18	1	2	2	90	2	$4\vec{i}+4\vec{j}$	2	2
19	1	3	2	2	2	$2\vec{i}+10\vec{j}$	1	1,5
20	5	4	2	30	1	$3\vec{i}-2\vec{j}$	1,5	1,5
21	0,2	4	4	45	1	$6\vec{i}-2\vec{j}$	1	3
22	0,4	3	2	0	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	1,5	2,5
23	1	3	8	60	2	$4\vec{i}+2\vec{j}$	1,2	1,5
24	0,5	8	3	30	2	$6\vec{i}+7\vec{j}$	2	1,5
25	2	4	4	60	1	$2\vec{i}-2\vec{j}$	3,5	4
26	1	3	5	50	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	0,5	1,5
27	1,5	3	6	30	2	$4\vec{i}+4\vec{j}$	2	2,5
28	2	5	3	90	2	$6\vec{i}+7\vec{j}$	2	1,5
29	2	4	4	0	1	$5\vec{i}-2\vec{j}$	1,5	2
30	1	3	2,5	70	2	$4\vec{i}+6\vec{j}$	1	1

Пример выполнения задания Д1. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки

На рис. 4.3 представлена схема движения материальных точек в вертикальной плоскости *xOy*. Точка 1 массой $m_1 = 2$ кг, получив в начальном положении *A* скорость $V_{01} = 4$ м/с, движется вдоль гладкой оси *AS* с углом наклона $\beta = 30^{\circ}$. Во время движения на точку 1 действуют сила тяжести $\vec{P}_1$ и постоянная сила $\vec{F}_1$, проекция которой на ось *AS* равна $F_{1S} = 4{,}5$ Н. Направление вектора проекции силы $\vec{F}_{1S}$ на ось *AS* показано на рис. 4.3.

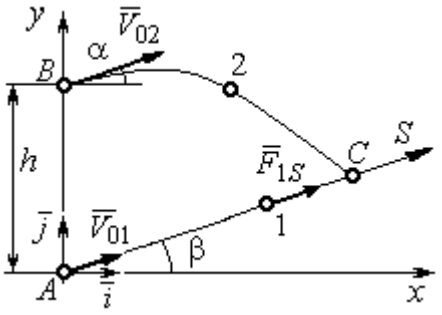


Рис. 4.3. Схема совместного движения точек

Одновременно с началом движения точки 1 из положения *B* на оси *y* высотой $h = 1$ м начинает движение точка 2 массой $m_2 = 1{,}2$ кг. На точку 2 действуют сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2$, направление которой определяется разложением по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ осей *x, y* декартовой системы координат: $\vec{F}_2 = 2{,}4\vec{i} + 4{,}5\vec{j}$, Н. Определить величину и направление (угол α) начальной скорости V_{02} точки 2, чтобы в момент времени t_1, когда скорость точки 1 уменьшилась в 2 раза по сравнению с начальным значением, обе они встретились на оси *AS* в точке *C*.

Решение

Рассмотрим движение точки 1. В текущий момент времени на точку 1 действует сила тяжести $\vec{P}_1$, нормальная реакция $\vec{N}_1$ наклонной оси *AS* и сила $\vec{F}_1$, величина проекции которой на ось *AS* равна F_{1S} (рис. 4.4). Дифференциальное уравнение движения точки 1 $m_1\ddot{S} = F_{1S} - P_1\sin\beta$, или $m_1\dfrac{dV_{1S}}{dt} = 4{,}5 - m_1 g\sin\beta$. С учетом исходных данных, полагая ускорение свободного падения $g = 9{,}81$ м/с^2, дифференциальное уравнение движения точки 1 приводится к виду: $\dfrac{dV_{1S}}{dt} = -2{,}66$. Разделим

переменные, представив дифференциальное уравнение в виде $dV_{1S} = -2{,}66dt$. Проинтегрировав его, получим зависимость скорости точки 1 от времени: $V_{1S} = -2{,}66t + C_1$. Для того чтобы определить закон движения точки 1, представим скорость точки как производную от координаты $V_{1S} = \dfrac{dS}{dt}$. Получим дифференциальное уравнение $\dfrac{dS}{dt} = -2{,}66t + C_1$, проинтегрировав которое, найдём уравнение движения точки 1: $S = -1{,}33t^2 + C_1 t + C_2$. Константы интегрирования C_1, C_2 находятся из начальных условий: при $t = 0$, $S = 0$, $\dot{S} = V_{1S} = V_{01} = 4$ м/с. Подставляя первое из условий в уравнение движения точки 1, получим $C_2 = 0$. Подставим начальное значение скорости в уравнение $\dot{S} = -2{,}66t + C_1$, выражающее зависимость скорости точки 1 от времени. Получим $C_1 = 4$. Таким образом, движение точки 1 вдоль оси AS описывается уравнением: $S = -1{,}33t^2 + 4t$.

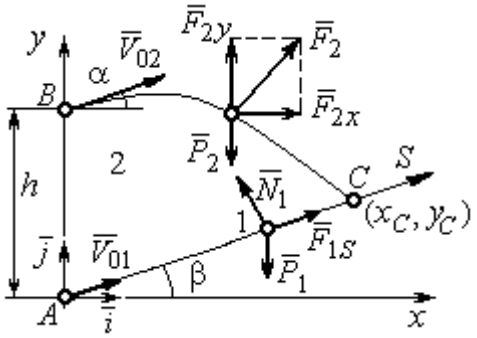


Рис. 4.4. Силы, действующие на точки 1 и 2, во время их движения

По условию задачи встреча двух точек происходит в момент времени t_1, когда скорость первой точки уменьшилась в 2 раза по сравнению с начальной: $V_{1S}(t_1) = \dfrac{V_{01}}{2} = 2$ м/с. Подставляя это условие в уравнение, выражающее зависимость скорости точки 1 от времени, получим: $2 = -2{,}66t_1 + 4$, откуда найдём момент времени встречи $t_1 = 0{,}75$ с. Расстояние AC, пройденное точкой 1 до встречи, определяется как путь, пройденный этой точкой за время $t_1 = 0{,}75$ с, $AC = S(t_1) = -1{,}33 \cdot 0{,}75^2 + 4 \cdot 0{,}75 = 2{,}25$ м. Координаты точки встречи x_C, y_C определяются из равенств: $x_C = S(t_1)\cos 30^\circ = 1{,}95$ м; $y_C = S(t_1)\sin 30^\circ = 1{,}12$ м.

Рассмотрим движение точки 2. В текущий момент времени на нее действует сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2 = 2{,}4\vec{i} + 4{,}5\vec{j}$, проекции которой на оси координат

$F_{2x} = 2{,}4$ Н, $F_{2y} = 4{,}5$ Н. Дифференциальные уравнения движения точки 2 в проекциях на оси координат *x*, *y* имеют вид:

$$m_2\ddot{x} = F_{2x} = 2{,}4, \quad m_2\ddot{y} = -P_2 + F_{2y} = -m_2 g + 4{,}5,$$

или после подстановки исходных данных: $\ddot{x} = 2$, $\ddot{y} = -6{,}06$.

Представим в первом уравнении проекцию ускорения точки 2 на ось *x* как производную от соответствующей проекции скорости $\ddot{x} = \frac{dV_{2x}}{dt}$. После разделения переменных получим дифференциальное уравнение $dV_{2x} = 2dt$. Проинтегрируем его и найдем зависимость горизонтальной составляющей скорости точки 2 от времени: $V_{2x} = 2t + C_3$. Заменим в этом уравнении проекцию скорости точки на ось *x* на производную от координаты $V_{2x} = \frac{dx}{dt}$. После интегрирования получим уравнение, описывающее движение точки 2 вдоль оси *x*, $x = t^2 + C_3 t + C_4$. Для того чтобы найти постоянные C_3 и C_4, воспользуемся граничными условиями движения точки 2 – известной начальной координатой движения точки и вычисленной координатой точки встречи, то есть при $t = 0$, $x = 0$, а при $t_1 = 0{,}75$ с $x(t_1) = x_C = 1{,}95$ м. Подставляя граничные условия в уравнение движения точки 2, получим $C_4 = 0$, $C_3 = 1{,}85$. Таким образом, уравнение движения точки 2 вдоль оси *x*: $x = t^2 + 1{,}85t$.

Закон движения точки 2 вдоль оси *y* находим путем интегрирования второго дифференциального уравнения. Его представим в виде: $\frac{dV_{2y}}{dt} = -6{,}06$. После разделения переменных и первого интегрирования получим зависимость проекции скорости точки 2 на ось *y* от времени: $V_{2y} = -6{,}06t + C_5$. Заменив проекцию скорости точки 2 на ось *y* производной от координаты $V_{2y} = \frac{dy}{dt}$, вторично проинтегрируем. В результате движение точки 2 вдоль оси *y* описывается уравнением: $y = -3{,}03t^2 + C_5 t + C_6$. Для определения констант C_5 и C_6 используем граничные условия: при $t = 0$ $y(0) = h = 1$ м, а при $t_1 = 0{,}75$ с $y(t_1) = y_C = 1{,}12$ м. Получим $C_6 = 1$

, C_5 = 2,43. Таким образом, точка 2 движется вдоль оси y по закону: $y = -3{,}03t^2 + 2{,}43t + 1$.

Проекции скорости точки 2 на оси координат как функции времени имеют вид: $V_{2x}(t) = \dot{x} = 2t + 1{,}85$, $V_{2y}(t) = \dot{y} = -6{,}06t + 2{,}43$. Значения проекций при t = 0: $V_{02x} = V_{2x}(0) = 1{,}85$ м/с, $V_{02y} = V_{2y}(0) = 2{,}43$ м/с. Величина начальной скорости: $V_{02} = \sqrt{{V_{02x}}^2 + {V_{02y}}^2}$ = 3,05 м/с.

Угол наклона вектора скорости в начальный момент определяется из равенства: $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{V_{02y}}{V_{02x}} = \dfrac{2{,}43}{1{,}85} = 1{,}31$. Откуда $\alpha = 52{,}64^\circ$.

4.3. Колебания материальной точки

Силы, возникающие при отклонении материальной точки от положения равновесия и направленные так, чтобы вернуть точку в это положение, называются **восстанавливающими**. Восстанавливающие силы, линейно зависящие от расстояния от точки до положения её равновесия, называются **линейными восстанавливающими силами**. Так, сила упругости пружины $F = c\Delta\ell$, где c – коэффициент жесткости (или просто жёсткость) пружины; $\Delta\ell$ – удлинение пружины, является линейной восстанавливающей силой.

Дифференциальное уравнение движения материальной точки массой m вдоль оси Оx под действием линейной восстанавливающей силы, представляет собой уравнение гармонических колебаний и имеет вид:

$$m\ddot{x} + cx = 0, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,$$

где x – отклонение точки от положения равновесия, куда поместили начало координат; ω – угловая частота колебаний, $\omega^2 = \dfrac{c}{m}$. Единица измерения угловой частоты – рад/с.

Решение дифференциального уравнения свободных колебаний представляется суммой $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$, где постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий. **Амплитуда свободных колебаний** $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$. Промежуток времени, в течение которого точка совершает одно полное колебание, называется **периодом колебаний**: $T = \frac{2\pi}{\omega}$. Величина, обратная периоду $\nu = \frac{1}{T}$ определяет число полных колебаний точки за 1 с и называется **частотой колебаний**. Частота колебаний измеряется в герцах (Гц). Частота, равная 1 Гц, соответствует одному полному колебанию в секунду. Угловая частота связана с частотой колебаний соотношением $\omega = 2\pi\nu$.

Если на материальную точку кроме восстанавливающей силы действует сила сопротивления движению, пропорциональная скорости точки, $\vec{R} = -\mu\vec{V}$, где μ – коэффициент сопротивления, то дифференциальное уравнение движения точки с сопротивлением относительно положения равновесия имеет вид $m\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = 0$, или $\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega^2 x = 0$, где n – коэффициент затухания, $n = \frac{\mu}{2m}$; ω – угловая частота собственных колебаний точки без учёта сопротивления, $\omega^2 = \frac{c}{m}$.

При $n < \omega$ движение точки представляет затухающие колебания. Общее решение дифференциального уравнения колебаний с сопротивлением $x = e^{-nt}(C_1\cos\omega_1 t + C_2\sin\omega_1 t) = Ae^{-nt}\sin(\omega_1 t + \alpha)$, где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования; ω_1 – угловая частота затухающих колебаний, $\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - n^2}$; $A_1 = Ae^{-nt}$ – амплитуда затухающих колебаний, $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$; α – начальная фаза колебаний, $\mathrm{tg}\alpha = \frac{C_1}{C_2}$.

При $n > \omega$ движение точки апериодическое, затухающее. Общее решение дифференциального уравнения движения точки с таким сопротивлением имеет вид $x = e^{-nt}(C_1 e^{\omega_2 t} + C_2 e^{-\omega_2 t})$, где $\omega_2 = \sqrt{n^2 - \omega^2}$.

При $n = \omega$ движение точки происходит согласно уравнению $x = e^{-nt}(C_1 t + C_2)$.

Если кроме восстанавливающей силы на материальную точку действует переменная возмущающая сила, колебания точки называются **вынужденными.**

При действии гармонической возмущающей силы $F = H\sin pt$, где H, p – амплитуда и угловая частота колебаний возмущающей силы, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия и при отсутствии сил сопротивления имеет вид

$$m\ddot{x} + cx = H\sin pt, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных гармонических колебаний, $\omega^2 = \frac{c}{m}$; h – относительная амплитуда возмущающей силы, $h = \frac{H}{m}$.

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний представляется как сумма общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного.

При отсутствии резонанса, когда частота собственных колебаний не совпадает с частотой возмущающей силы $p \neq \omega$, решение имеет вид: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \frac{h}{\omega^2 - p^2}\sin pt$, а в случае резонанса, когда $p = \omega$, – вид: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t - \frac{ht}{2p}\cos pt$. Значения произвольных постоянных C_1 и C_2 определяются из общего решения неоднородного уравнения с учетом начальных условий движения. Амплитуда собственных колебаний груза $A_{\text{соб}} = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$. Амплитуда вынужденных колебаний при отсутствии резонанса $A_{\text{вын}} = \frac{h}{\omega^2 - p^2}$.

При резонансе амплитуда вынужденных колебаний растет как линейная функция времени $A_{\text{вын}} = \dfrac{ht}{2p}$.

Если возмущающее воздействие заключается в **принудительном гармоническом колебании точки подвеса пружины**, например, по закону $S = a\sin pt$, где $a,\ p$ – амплитуда и угловая частота колебаний точки подвеса пружины, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия при отсутствии сил сопротивления имеет вид $\ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt$, где ω – угловая частота собственных гармонических колебаний, $\omega^2 = \dfrac{c}{m}$; h – относительная амплитуда возмущающего колебания, $h = \dfrac{ca}{m}$. Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний при принудительном гармоническом колебании точки подвеса пружины может быть получено аналогично случаю возмущения гармонической силой.

Система пружин заменяется одной с эквивалентной жесткостью. Так, колебания груза на двух параллельных пружинах с коэффициентами жесткости c_1 и c_2 (рис. 4.5, *a*) можно рассматривать как колебания груза на одной пружине эквивалентной жесткости $c_{\text{экв}} = c_1 + c_2$, где $c_{\text{экв}}$ – коэффициент жесткости эквивалентной пружины. При последовательном соединении пружин (рис. 4.5, *b*) коэффициент жесткости эквивалентной пружины $c_{\text{экв}} = \dfrac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$. Если груз расположен между двумя пружинами (рис. 4.5, *c*), тогда $c_{\text{экв}} = c_1 + c_2$. Коэффициент жесткости эквивалентной пружины равен сумме коэффициентов жесткости пружин.

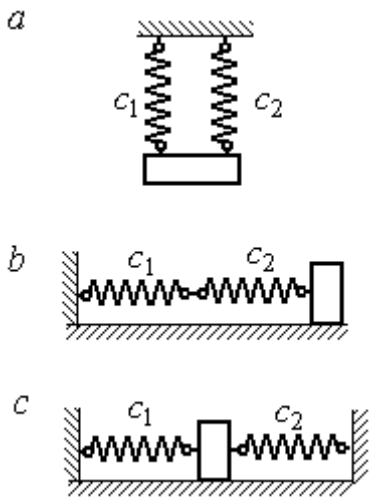


Рис. 4.5. Способы крепления груза на двух пружинах:
a – две параллельные пружины;
b – последовательно соединённые пружины; *c* – крепление груза между пружинами

4.4. Задание Д2. Исследование колебаний точки

Задание Д2 на исследование колебаний точки включает две задачи.

Задача 1. Исследование гармонических колебаний точки.

Найти уравнение движения груза массой m_1 (или одновременно двух грузов массой m_1 и m_2) на пружине жесткостью c_1 (или на двух пружинах жесткостью c_1 и c_2). Расположение грузов на пружине и описание условий, при которых начались колебания, приведено на схемах. Определить амплитуду и частоту колебаний.

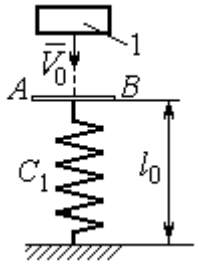
Задача 2. Исследование вынужденных колебаний точки.

Груз движется на пружинах, расположенных вертикально или горизонтально. При движении груза по горизонтальной поверхности трение не учитывается. Жёсткость пружин c_1 и c_2. Направление возмущающего усилия $F = F(t)$, приложенного к грузу, или возмущающего движения точки крепления пружин $S = S(t)$, а также описание условий начала колебаний приведено на схемах. В задачах, где на схемах присутствует амортизатор, создающий сопротивление движению груза, сила сопротивления пропорциональна скорости движения груза и находится по формуле: $\vec{R} = -\mu\vec{V}$ Н, где μ – коэффициент сопротивления; V – скорость груза. Определить уравнение колебаний груза, амплитуды собственных и вынужденных колебаний.

Варианты заданий даны на рис. 4.6 – 4.9. Исходные данные в табл. 4.2.

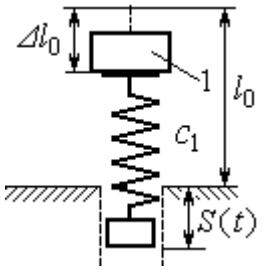
Варианты № 1, 11, 21

Задача 1



Невесомая пластина AB укреплена на нерастянутой пружине. Груз 1, получив начальную скорость V_0, падает вертикально вниз. Через 1 с после начала падения груз достигает пластины и продолжает движение вместе с ней

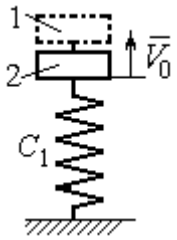
Задача 2



К верхнему концу пружины, сжатой на величину $\Delta\ell_0$, прикрепляют груз 1 и отпускают без начальной скорости. Одновременно нижний конец пружины начинает двигаться по закону $S = S(t)$

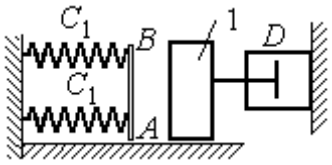
Варианты № 2, 12, 22

Задача 1



В положении статического равновесия двух грузов (1 и 2), установленных на пружине, груз 1 убрали, а грузу 2 сообщили скорость V_0, направленную вверх

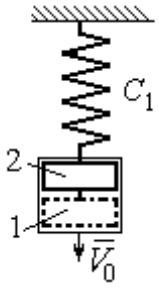
Задача 2



Груз 1 движется по гладкой горизонтальной поверхности с начальной скоростью V_0. Через 1 с груз упирается в площадку AB, укреплённую на недеформированных пружинах, соединённых параллельно, и продолжает движение вместе с ней. Во время движения (до упора в площадку AB и вместе с ней) груз испытывает сопротивление, создаваемое демпфером D

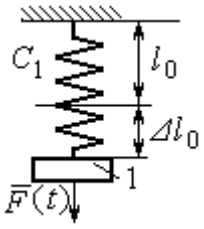
Варианты № 3, 13, 23

Задача 1



В положении статического равновесия груза 2, укреплённого на пружине, к нему присоединили груз 1 и оба груза толкнули вниз со скоростью V_0

Задача 2

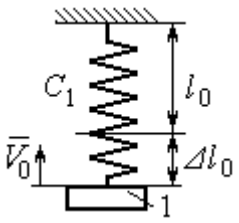


Недеформированную пружину оттянули вниз на расстояние $\Delta\ell_0$, подцепили груз 1 и отпустили без начальной скорости. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

Рис. 4.6. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 1 – 3, 11 – 13, 21 – 23

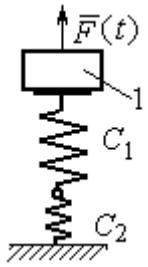
Варианты № 4, 14, 24

Задача 1



К недеформированной пружине подцепили груз 1, оттянули его вниз на расстояние $\Delta\ell_0$ и сообщили скорость V_0, направленную вверх

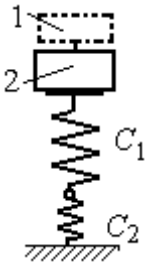
Задача 2



Грузу 1, укреплённому на двух последовательно соединённых пружинах в положении статического равновесия, сообщили начальную скорость V_0, направленную вниз. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

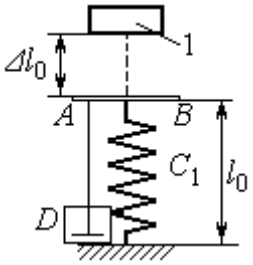
Варианты № 5, 15, 25

Задача 1



В положении статического равновесия грузов 1 и 2, укреплённых на двух вертикальных последовательно соединённых пружинах, убрали груз 1, а груз 2 отпустили без начальной скорости

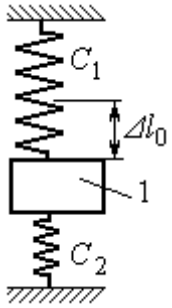
Задача 2



Груз 1 падает с высоты $\Delta\ell_0$ на площадку AB, установленную на недеформированной пружине, и продолжает движение вместе с ней. Демпфер D создаёт сопротивление движению груза на пружине

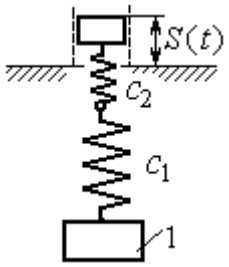
Варианты № 6, 16, 26

Задача 1



Груз 1 поместили между двумя недеформированными пружинами, затем оттянули вниз на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили без начальной скорости

Задача 2

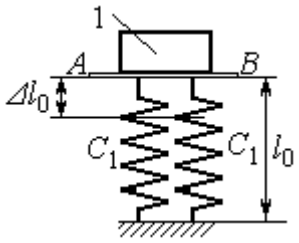


К недеформированным пружинам, соединённым последовательно, подцепили груз 1 и толкнули его вниз со скоростью V_0. Одновременно верхний конец пружины начинает двигаться по закону $S = S(t)$

Рис. 4.7. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 4 – 6, 14 – 16, 24 – 26

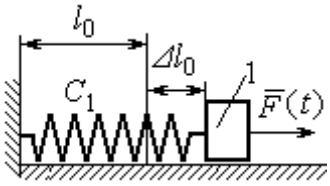
Варианты № 7, 17, 27

Задача 1



К недеформированным пружинам приложили груз 1, переместили его вниз на величину $\Delta\ell_0$ и сообщили скорость V_0, направленную вниз

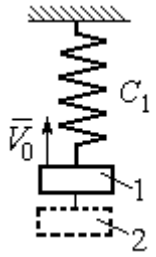
Задача 2



К нерастянутой пружине, расположенной на горизонтальной гладкой поверхности, подцепили груз 1, оттянули его на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили. Одновременно на груз стала действовать горизонтальная возмущающая сила $\vec{F}(t)$

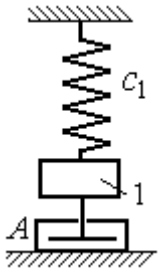
Варианты № 8, 18, 28

Задача 1



Грузы 1 и 2 находятся на пружине в положении статического равновесия. Груз 2 удаляют, а грузу 1 сообщают скорость V_0, направленную вверх

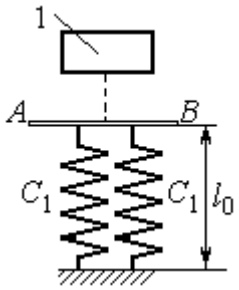
Задача 2



В положении статического равновесия груза 1 ему сообщили скорость V_0, направленную вниз. Демпфер A создаёт сопротивление движению груза

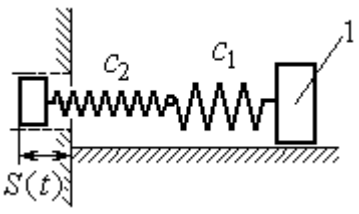
Варианты № 9, 19, 29

Задача 1



Груз 1 без начальной скорости падает вниз. Пройдя путь 1 м, груз достигает невесомой пластины AB, укреплённой на недеформированных, параллельно соединённых пружинах, и дальше движется вместе с ней

Задача 2



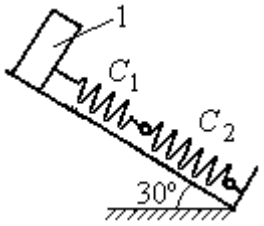
К двум горизонтальным пружинам, соединённым последовательно, в положении их нерастянутого состояния прицепили груз 1 и сообщили ему горизонтальную скорость V_0, направленную в сторону сжатия пружин. Одновременно левый конец пружинной системы начинает двигаться по закону $S = S(t)$

Рис. 4.8. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 7 – 9, 17 – 19, 27 – 29

Окончание вариантов задания Д2

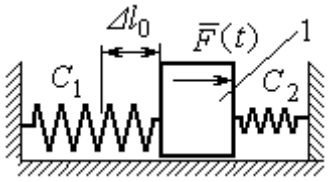
Варианты № 10, 20, 30

Задача 1



В положении статического равновесия груза 1, укреплённого на двух последовательно соединённых пружинах, сообщили скорость V_0, направленную вниз по наклонной плоскости

Задача 2



Между двумя горизонтальными недеформированными пружинами на гладкую поверхность поместили груз 1, оттянули его влево на расстояние $\Delta\ell_0$ и отпустили без начальной скорости. Одновременно на груз стала действовать возмущающая сила $\vec{F}(t)$

Рис. 4.9. Задание Д2. Исследование колебаний точки.
Варианты задания 10, 20, 30

Таблица 4.2

Исходные данные задания Д2. Исследование колебаний точки

Номер варианта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
1	1	2,5	–	2,0	200	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	–	210	–	0,1	–	–	0,02sin12t
2	1	1,5	2,0	4	250	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	4	220	–	–	1,0	–	–
3	1	2,0	1,5	3	250	–	–	–	–	–
	2	1,2	–	–	200	–	0,14	–	12sin5t	–
4	1	2,0	–	3	180	–	0,1	–	–	–
	2	1,5	–	2	150	120	–	–	8sin12t	–
5	1	1,0	2,0	–	120	100	–	–	–	–
	2	1,0	–	–	50	–	0,5	18	–	–
6	1	1,2	–	–	120	180	0,12	–	–	–
	2	1,4	–	2,4	120	180	–	–	–	0,03sin14t
7	1	1,6	–	3,2	140	–	0,15	–	–	–
	2	1,5	–	–	120	–	0,12	–	12sin6t	–
8	1	1,0	2,0	3,0	150	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	3,5	120	–	–	15	–	–

Продолжение табл. 4.2

Номер вари-анта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
9	1	1,5	–	–	100	–	–	–	–	–
	2	1,4	–	2,0	100	110	–	–	–	0,015sin8t
10	1	2,5	–	2,5	110	100	–	–	–	–
	2	2,0	–	–	110	52	0,08	–	5sin9t	–
11	1	2,0	–	4,0	300	–	–	–	–	–
	2	1,0	–	–	200	–	0,12	–	–	0,01sin4t
12	1	1,8	2,4	4	220	–	–	–	–	–
	2	1,0	–	5	240	–	–	0,6	–	–
13	1	1,5	1,5	2	200	–	–	–	–	–
	2	1,8	–	–	180	–	0,08	–	10sin10t	–
14	1	2,0	–	2	200	–	0,12	–	–	–
	2	2,0	–	2	150	120	–	–	10sin8t	–
15	1	1,5	2,0	–	120	250	–	–	–	–
	2	1,5	–	–	120	–	0,4	4	–	–
16	1	2,0	–	–	150	75	0,1	–	–	–
	2	2,0	–	2,5	150	75	–	–	–	0,01sin5t
17	1	1,5	–	2,1	160	–	0,11	–	–	–
	2	1,8	–	–	150	–	0,1	–	8sin12t	–
18	1	2,0	1,0	2,5	80	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	2,5	50	–	–	21	–	–
19	1	1,6	–	–	120	–	–	–	–	–
	2	1,2	–	2,0	85	120	–	–	–	0,015sin7t
20	1	2,0	–	2,0	90	100	–	–	–	–
	2	2,5	–	–	100	90	0,12	–	6sin10t	–
21	1	2,0	–	1,6	220	–	–	–	–	–
	2	2,5	–	–	250	–	0,14	–	–	0,01sin10t
22	1	2,2	1,5	3	180	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	4	280	–	–	0,8	–	–
23	1	2,2	1,2	2	220	–	–	–	–	–
	2	1,6	–	–	200	–	0,12	–	5sin7t	–

Окончание табл. 4.2

Номер варианта задания	Номер задачи	m_1, кг	m_2, кг	V_0, м/с	c_1, Н/м	c_2, Н/м	$\Delta\ell_0$, м	μ, Н·с/м	$F(t)$, Н	$S(t)$, м
24	1	1,6	–	2,4	160	–	0,13	–	–	–
	2	1,0	–	3	150	300	–	–	6sin10t	–
25	1	0,8	1,2	–	120	80	–	–	–	–
	2	0,8	–	–	180	–	0,4	12	–	–
26	1	1,4	–	–	100	120	0,15	–	–	–
	2	1,8	–	2,2	150	120	–	–	–	0,015sin8t
27	1	2	–	4,0	150	–	0,12	–	–	–
	2	2	–	–	162	–	0,13	–	5sin9t	–
28	1	1,5	2,0	2,0	140	–	–	–	–	–
	2	1,5	–	3,1	180	–	–	12	–	–
29	1	1,0	–	–	140	–	–	–	–	–
	2	2,0	–	2,4	75	150	–	–	–	0,08sin5t
30	1	1,6	–	3	75	150	–	–	–	–
	2	1,5	–	3	80	70	0,15	–	8sin10t	–

Пример выполнения задания Д2. Исследование колебаний точки

Задача 1. Груз 1 весом $P = 20$ Н, лежащий на гладкой наклонной плоскости, прикреплён к недеформированной пружине, расположенной параллельно плоскости (рис. 4.10). Угол наклона плоскости к горизонту 30º, коэффициент жесткости пружины $c = 400$ Н/м. В начальный момент груз переместили вверх по наклонной плоскости (сжали пружину) на расстояние $\Delta\ell_0 = 0{,}1$ м относительно нерастянутой пружины и отпустили без начальной скорости.

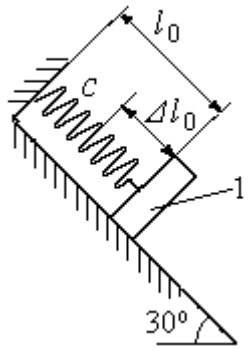


Рис. 4.10. Схема крепления груза и условия начала колебаний

Определить уравнение колебаний груза 1, а также частоту и амплитуду колебаний.

Решение

Расчетная схема колебаний груза 1 показана на рис. 4.11. Направим ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, вниз вдоль наклонной плоскости. Начало отсчёта координаты *x* выберем в положении статического равновесия груза (см. рис. 4.11) В произвольном положении груза, обозначенном координатой *x*, к нему приложены три силы: сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры наклонной плоскости $\vec{N}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$. Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*: $F_{\text{упр}\,x} = -c\Delta\ell$, где $\Delta\ell$ – удлинение пружины относительно её нерастянутого положения, включающее её растяжение *x* относительно выбранного начала координат и растяжение $\lambda_{\text{ст}}$ при статическом равновесии груза на наклонной плоскости.

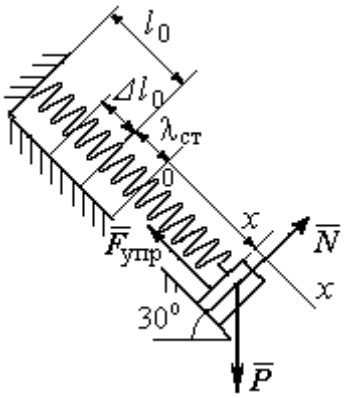


Рис. 4.11. Расчётная схема колебаний груза

С учетом выражения силы упругости получим дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*:

$$m\ddot{x} = P\sin 30^\circ - c(x + \lambda_{\text{ст}}).$$

В положении статического равновесия сила упругости уравновешивается силой, равной проекции силы тяжести на ось *x*: $P\sin 30^\circ - c\lambda_{\text{ст}} = 0$. Подставляя это выражение условия статического равновесия груза в уравнение движения, получим дифференциальное уравнение колебаний груза:

$$m\ddot{x} = -cx, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,$$

где ω – угловая частота колебаний; $\omega = \sqrt{\dfrac{c}{m}} = 14{,}01$ рад/с.

Общее решение уравнения колебаний $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим координату x_0 начального положения груза на оси *Ox*.

Растяжение пружины в положении статического равновесия $\lambda_{ст} = \dfrac{P\sin 30^\circ}{c}$ = 0,025 м. Координата начального положения груза определяется величиной сжатия пружины и, поскольку начало отсчёта координаты *x* выбрано в положении статического равновесия груза, равна (со знаком!): $x_0 = -(\Delta\ell_0 + \lambda_{ст}) = -0{,}125$ м (см. рис. 4.11).

Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний при $t = 0$, получим $C_1 = -0{,}125$ м. Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t$. Подставим сюда начальное значение скорости груза при $t = 0$ $\dot{x} = V_0 = 0$, получим $C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения груза 1 относительно положения статического растяжения пружины:

$$x(t) = -0{,}125\cos 14{,}01t \text{ м}.$$

Амплитуда колебаний груза $A = 0{,}125$ м.

Задача 2. Груз 1 весом $P = 20$ Н подвешен на недеформированной вертикальной пружине (рис. 4.12). Жесткость пружины $c = 800$ Н/м. В начальный момент груз был оттянут вниз в положение, при котором пружина растянулась на расстояние $\Delta\ell_0 = 0{,}1$ м, и в этом положении ему сообщена начальная скорость $V_0 = 2$ м/с, направленная вверх.

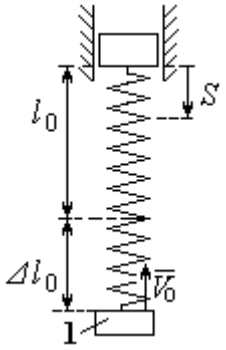


Рис. 4.12. Схема крепления груза и условия начала колебаний

Одновременно с началом движения груза верхний конец пружины стал совершать гармонические колебания по закону $S = a\sin 10t$, где $a = 0{,}02$ м.

Определить уравнение колебаний груза 1, а также частоту и амплитуду собственных колебаний.

Решение

Расчетная схема колебаний груза 1 показана на рис. 4.13. Направим ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, вертикально вниз. Начало отсчёта координаты *x* выберем в положении статического равновесия груза (см. рис. 4.13, *c*, *d*). В произвольном положении груза, обозначенном координатой *x*, к нему приложены две силы: сила тяжести $\vec{P}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$.

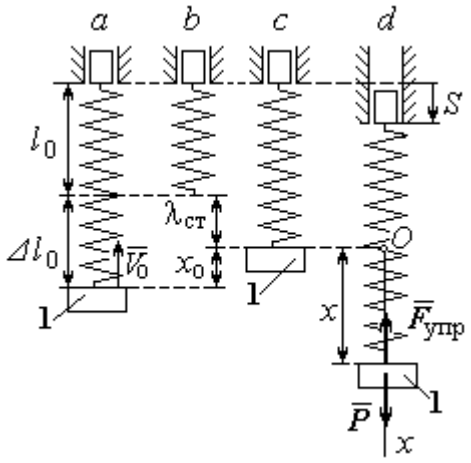


Рис. 4.13. Расчётная схема вынужденных колебаний груза: *a* – положение груза на начало колебаний; *b* – недеформированная пружина; *c* – статическое растяжение пружины под действием веса груза; *d* – положение груза в произвольный момент времени и перемещение точки подвеса пружины

Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*

$$F_{\text{упр}\,x} = -c\Delta\ell = -c(x + \lambda_{\text{ст}} - S),$$

где $\Delta\ell$ – удлинение пружины, включающее её растяжение *x* относительно начала координат, растяжение $\lambda_{\text{ст}}$ при статическом равновесии груза и уменьшение растяжения при смещении верхнего конца, $\Delta\ell = (x + \lambda_{\text{ст}} - S)$.

С учетом выражения силы упругости получим дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*:

$$m\ddot{x} = P - c(x + \lambda_{\text{ст}} - S).$$

В положении статического равновесия выполняется условие равенства сил: $P - c\lambda_{\text{ст}} = 0$.

После подстановки его в уравнение движения груза получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний:

$$m\ddot{x} = -cx + cS, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний, $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$, ω = 19,81 рад/с; h – относительная амплитуда вынужденных колебаний, $h = \frac{ca}{m}$ = 7,85 м/с^2; p – угловая частота вынужденных колебаний, p = 10 рад/с.

При отсутствии резонанса (здесь $\omega \neq p$) общее решение уравнения вынужденных колебаний имеет вид $x = C_1 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t + \frac{h}{\omega^2 - p^2} \sin pt$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим координату x_0 начального положения груза на оси Ox. Координата начального положения груза (см. рис. 4.13, *b*) $x_0 = \Delta\ell_0 - \lambda_{ст}$. Растяжение пружины в положении статического равновесия $\lambda_{ст} = \frac{P}{c}$ = 0,02 м, тогда x_0 = 0,08 м. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения вынужденных колебаний при t = 0, получим: $C_1 = x_0$ = 0,08 м.

Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1 \omega \sin\omega t + C_2 \omega \cos\omega t + \frac{hp}{\omega^2 - p^2} \cos pt$. Проекция скорости груза в начальный момент на ось Ox $V_{0x} = -V_0$. Подставив начальное значение скорости груза при t = 0 $\dot{x} = V_{0x} = -V_0$, получим: $C_2 = -\frac{V_0}{\omega} - \frac{hp}{\omega(\omega^2 - p^2)} = -0{,}11$ м.

Окончательно уравнение движения груза 1 относительно положения статического равновесия, м.

$$x(t) = 0{,}08\cos 19{,}82t - 0{,}11\sin 19{,}82t - 0{,}03\sin 10t.$$

Амплитуда вынужденных колебаний $A_{вын} = \frac{h}{\omega^2 - p^2}$ = 0,03 м. Амплитуда собственных колебаний груза $A_{соб} = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$ = 0,14 м.

4.5. Теорема об изменении кинетической энергии точки

Работой $A(\vec{F})$ силы $\vec{F}$, постоянной по модулю и направлению, на конечном прямолинейном перемещении S_1 точки приложения силы называется величина $A(\vec{F}) = FS_1\cos\alpha$. Если угол α острый, работа силы положительна. Если угол α тупой, – отрицательна. При α = 90° сила перпендикулярна перемещению точки и работа силы равна нулю.

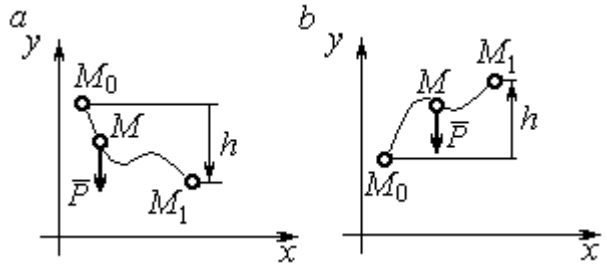


Рис. 4.14. Схема для вычисления работы силы тяжести:
a – перемещение точки сверху вниз;
b – перемещение точки снизу вверх

Работа силы тяжести материальной точки (вертикальной силы) при перемещении точки из положения M_0 в положение M_1 равна произведению модуля силы тяжести на вертикальное перемещение точки $A_{(M_0M_1)} = \pm Ph$, где P – величина силы тяжести точки; h – величина вертикального перемещения точки (рис. 4.14). Работа силы тяжести положительная, если начальная точка движения выше конечной, и отрицательная, – если ниже.

Работа силы упругости пружины на прямолинейном перемещении вдоль линии действия силы из положения недеформированной пружины на расстояние h определяется формулой $A(F_{\text{упр}}) = -\dfrac{ch^2}{2}$, где c – коэффициент жесткости (или просто жёсткость) пружины.

Кинетической энергией материальной точки называется скалярная величина $T = \dfrac{1}{2}mV^2$, где m – масса точки; V – её скорость. **Теорема об изменении кинетической энергии точки** заключается в том, что изменение кинетической энергии точки за конечный промежуток времени равно алгебраической сумме работ всех действующих на неё сил: $\dfrac{mV_1^2}{2} - \dfrac{mV_0^2}{2} = \sum A_{(M_0M_1)}$, где V_0, V_1 – скорость точки в начальном положении M_0 и в положении M_1; $\sum A_{(M_0M_1)}$ – сумма работ

всех сил, действующих на точку, при её перемещении из положения M_0 в положение M_1.

При несвободном движении точки сумма работ сил включает работу реакций связи. Если движение происходит без трения по неподвижной гладкой поверхности, то реакция связи направлена по нормали к поверхности и её работа при любом перемещении точки равна нулю.

Для определения реакций связи при несвободном движении точки используются уравнения движения точки в проекциях на оси естественной системы координат – касательную и нормальную: $m\frac{dV}{dt} = \sum F_\tau$, $m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_n$, где $\sum F_\tau$, $\sum F_n$ – суммы проекций сил на касательную и нормальную оси естественной системы координат; ρ – радиус кривизны траектории точки.

4.6. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

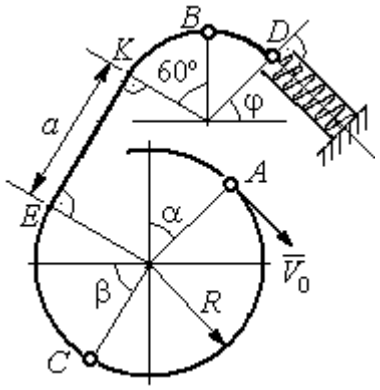
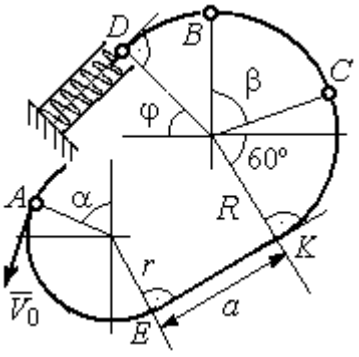
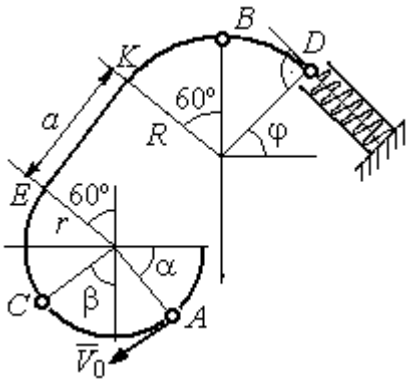
Тонкий стержень с надетым на него шариком массой m расположен в вертикальной плоскости и состоит из дуг окружностей радиусами r и $R = 2r$, соединённых прямолинейным отрезком EK, сопряжённым с дугами окружностей в точках E и K. В этих точках шарик переходит с одного участка стержня на другой, не изменяя величины и направления скорости. Длина отрезка $EK = a$.

В точке A, положение которой на дуге окружности определяется углом α, шарику сообщают начальную скорость V_0. По дугам окружностей шарик скользит без трения, а при движении по прямолинейному отрезку EK на него действует постоянная сила трения с коэффициентом трения f. На участках с вертикальным отрезком EK считать, что шарик прижимается к стержню силой, равной половине веса шарика.

Достигнув на дуге окружности точки D, шарик упирается в недеформированную пружину жёсткостью c и, продолжая движение по сопряженной прямой, сжимает её. Положение точки D определяется углом φ.

Определить величину максимального сжатия пружины, если шарик проходит наивысшее положении траектории – точку B со скоростью $V_B = kV_0$. При найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке C, положение которой на дуге определяется углом β.

Варианты заданий приведены на рис. 4.15, 4.16. Исходные данные задания в табл. 4.3.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**	**Варианты № 3, 13, 23**
		

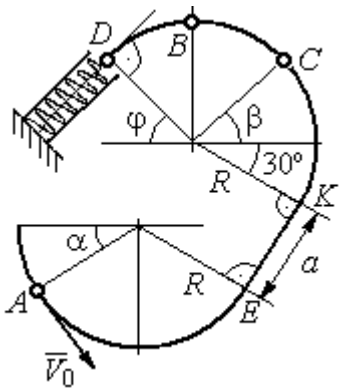
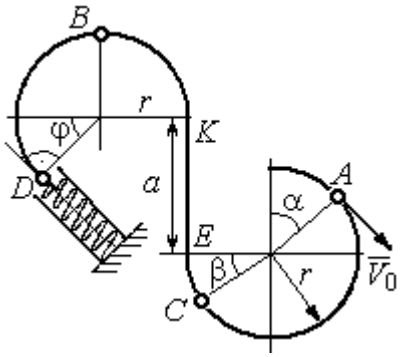
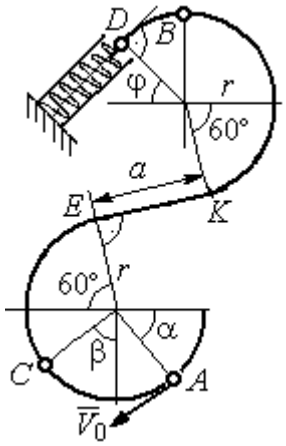
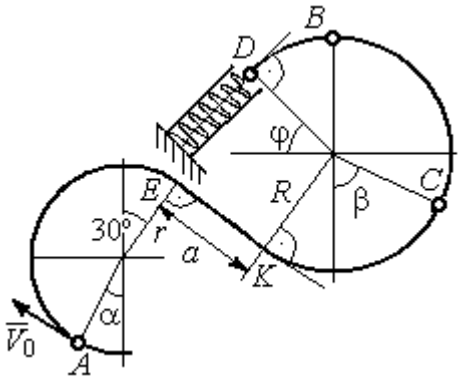
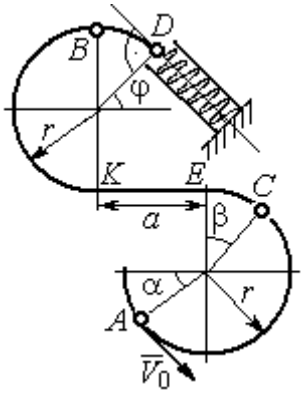
Варианты № 4, 14, 24	**Варианты № 5, 15, 25**	**Варианты № 6, 16, 26**
		

Рис. 4.15. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии.
Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д3

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

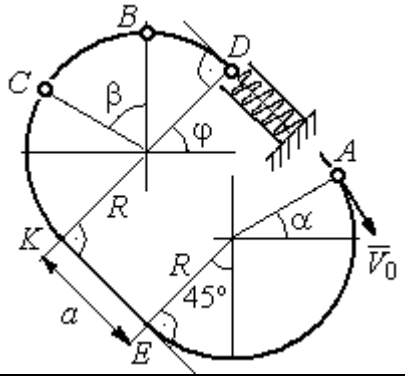
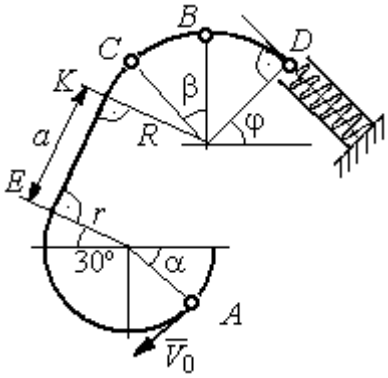
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 4.16. Задание Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии.
Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 4.3

Исходные данные задания Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
m, кг	0,8	0,5	0,6	0,4	1,0	0,6	0,9	0,5	0,3	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3	1,0
α, град	30	45	0	30	30	0	0	45	30	0	60	30	30	45	60
β , град	60	30	60	0	60	30	60	60	30	45	30	60	60	30	30
φ, град	0	60	30	0	0	30	45	0	30	45	30	30	0	30	45
r, м	0,4	0,4	0,5	0,3	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,8
a, м	0,5	0,6	0,9	1,4	0,8	1,2	0,5	0,5	1,4	0,5	0,8	0,5	0,8	0,6	0,6
f	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
k	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
c, Н/м	100	80	90	80	120	100	90	80	60	80	90	60	80	60	110

Окончание табл. 4.3

Номер варианта задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
m, кг	0,6	0,5	0,6	0,4	0,8	0,5	0,4	1,0	0,6	0,5	0,4	0,8	0,4	0,6	0,8
α, град	60	30	0	45	60	90	90	60	60	90	30	60	60	45	90
β, град	60	30	45	90	60	45	90	60	60	30	30	60	60	0	60
φ, град	45	60	60	60	30	90	0	90	45	60	60	90	30	60	0
r, м	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,8	0,4	0,4	0,8	0,6	0,4
a, м	0,4	1,2	0,9	1,2	1,2	0,9	0,6	1,5	1,4	0,8	1,2	0,9	0,6	0,8	0,5
f	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
k	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
c, Н/м	80	60	90	60	100	90	80	110	80	60	60	80	60	80	100

Пример выполнения задания Д3. Исследование движения точки с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Тонкий стержень, расположенный в вертикальной плоскости, состоит из двух дуг окружностей, сопряженных в точках E и K с прямолинейным отрезком EK длиной a = 0,6 м (рис. 4.17). Радиусы окружностей R = 1 м и r = 0,5 м. Диаметры дуг окружностей, проведённые в точках E и K, составляют с горизонтом угол 30°. На стержень надет шарик массой m = 0,5 кг. В точке A, положение которой на дуге радиуса R определяется углом α = 60° (см. рис. 4.17), шарику сообщают начальную скорость V_0, после чего он начинает движение. По дугам окружностей шарик скользит без трения. При движении по прямой EK на него действует постоянная сила трения с коэффициентом трения f = 0,2. Достигнув точки D на верхней дуге, шарик упирается в пружину жесткостью c = 100 Н/м и, двигаясь по сопряжённой прямой без трения, сжимает её. Найти величину максимального сжатия пружины, если наивысшее положение на траектории (точку B) шарик проходит со скоростью $V_B = kV_0$ при k = 0,3. При найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке C, положение которой на дуге определяется углом $\beta = 90°$.

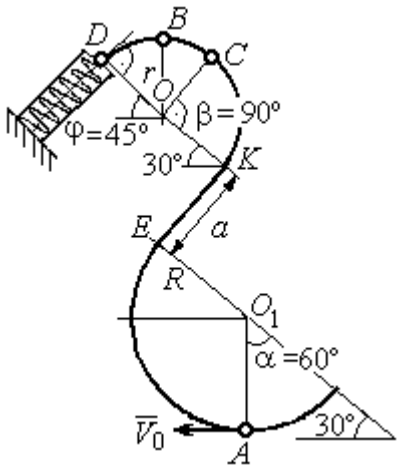


Рис. 4.17. Схема движения шарика

Решение

Рассмотрим движение шарика по стержню из начального положения A в наивысшее положение – точку B.

При движении шарика по дугам окружностей работу совершает только сила тяжести. Реакция гладкой поверхности стержня в любой момент времени перпендикулярна поверхности стержня, и потому её работа при перемещении шарика равна нулю.

На участке движении шарика по прямой EK на него действуют сила тяжести $\vec{P}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}_{EK}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 4.18, b). Работу совершают сила тяжести и сила трения. Работа реакции опоры стержня равна нулю.

Обозначим $h_{(AB)}$ – перепад высот точек A и B на траектории; V_A – начальная скорость шарика в точке A, $V_A = V_0$; V_B – его скорость в точке B, $V_B = 0{,}3V_0$. Для вычисления перепада высот точек A и B имеем выражение (рис. 4.18, a):

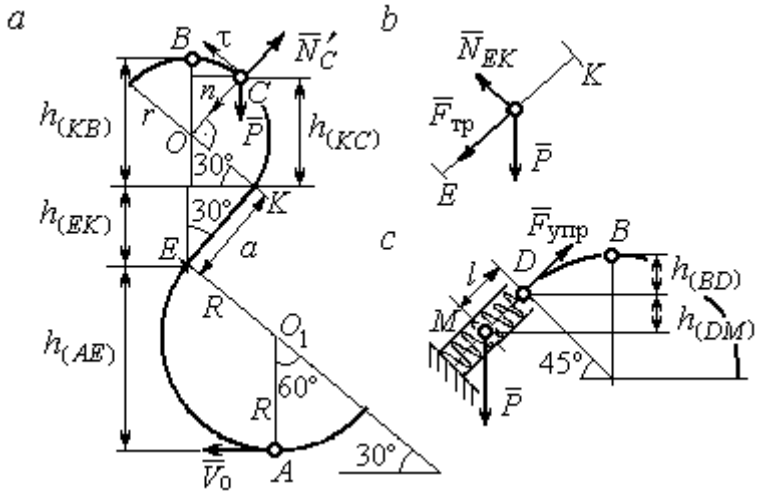


Рис. 4.18. Силы, действующие на шарик во время движения и перепады высот

$$h_{(AB)} = h_{(AE)} + h_{(EK)} + h_{(KB)} =$$

$$R(1+\sin 30^\circ) + a\cos 30^\circ +$$

$$r(1+\sin 30^\circ).$$

Будем считать шарик материальной точкой. Применяя теорему об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения A в положение B, получим: $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(\vec{P}) + A(\vec{F}_{\text{тр}})$, где $A(\vec{P}) = -Ph_{(AB)}$, $A(\vec{F}_{\text{тр}}) = -F_{\text{тр}}a$ – работы, соответственно, силы тяжести на участке движения AB и силы трения на отрезке EK. Сила трения равна $F_{\text{тр}} = f \cdot N_{EK} = f \cdot mg\cos 60^\circ$ (рис. 4.18, a, b).

В результате, теорема об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из начального положения A в конечное положение B принимает

вид: $\frac{m(0{,}3V_0)^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = -\,mg\left[(R+r)(1+\sin 30^\circ) + a(\cos 30^\circ + f\cdot\cos 60^\circ)\right]$. После подстановки данных задачи, получим: $0{,}91V_0^2 = 55{,}517$, откуда находим необходимое значение начальной скорости шарика: V_0 = 7,81 м/с.

Найдём давление шарика на стержень в точке *C*.

Проведём в точке *C* оси естественной системы координат – касательную $C\tau$ и нормаль Cn (рис. 4.18, *а*). Уравнение движения шарика в точке *C* в проекции на нормальную ось имеет вид: $m\frac{V_C^2}{r} = P\cos 30^\circ - N'_C$, где V_C – скорость шарика в точке *C*, N'_C – реакция стержня, приложенная к шарику. Направление реакции на рис. 4.18, *а* соответствует предположению, что шарик давит на стержень в направлении центра дуги окружности.

Для определения скорости шарика в точке *C* воспользуемся тем, что скорость шарика в точке *B* уже известна, и применим теорему об изменении кинетической энергии при движении шарика из начального положения *C* в конечное положение *B*. На этом участке движения работу совершает только сила тяжести шарика. Получим $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_C^2}{2} = -Ph_{(CB)}$, где V_C, V_B – значения скорости шарика в точках *C* и *B*; $h_{(CB)}$ – перепад высот точек *C* и *B*; $h_{(CB)} = r(1-\sin 30^\circ)$ = 0,5r (см. рис. 4.18, *а*). В результате теорема об изменении кинетической энергии принимает вид: $mV_C^2 = mV_B^2 + 2mgh_{(CB)}$ или $V_C^2 = V_B^2 + gr$. Отсюда, при условии V_B=0,3V_0 = 2,34 м/с, найдём V_C = 3,22 м/с.

Реакция опоры шарика: $N'_C = P\cos 30^\circ - m\frac{V_C^2}{r}$ = – 6,12 Н.

Отрицательное значение реакции опоры шарика означает, что вектор реакции $\vec{N}'_C$ в точке *C* (см. рис. 4.18, *а*) направлен в противоположную сторону. Давление шарика на стержень в точке *C* равно модулю реакции опоры.

Найдём величину максимального сжатия пружины.

Рассмотрим движение шарика на участке от точки *B* до положения максимально сжатой пружины – точки *M*. Движение на этом участке происходит по дуге окружности *BD* и по прямой *DM*. При этом сила тяжести совершает работу на всём участке движения, а сила упругости – на отрезке сжатия пружины. Обозначим величину максимального сжатия пружины $MD = l$.

По теореме об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения *B* в *M* получим: $\frac{mV_M^2}{2} - \frac{mV_B^2}{2} = A(\vec{P}) + A(\vec{F}_{\text{упр}})$, где V_M, V_B – скорость шарика в точках *M* и *B*. Работа силы тяжести $A(\vec{P}) = Ph_{(BM)} =$ $= P\left[h_{(BD)} + h_{(DM)}\right] = mg\left[r\left(1 - \cos 45^\circ\right) + l\cos 45^\circ\right]$. Работа силы упругости на прямолинейном участке *DM* длиной *l*: $A(\vec{F}_{\text{упр}}) = -\frac{cl^2}{2}$. Условие максимального сжатия пружины означает, что в точке *M* скорость шарика обращается в нуль: $V_M = 0$, тогда теорема об изменении кинетической энергии точки принимает вид: $-\frac{mV_B^2}{2} = mg\left[r\left(1 - \cos 45^\circ\right) + l\cos 45^\circ\right] - \frac{cl^2}{2}$. Подставляя данные задачи и с учётом того, что скорость шарика в наивысшей точке *B* найдена из предыдущих рассуждений $V_B = 2{,}34$ м/с, получим квадратное уравнение для определения величины максимального сжатия пружины $50l^2 - 3{,}468l - 2{,}085 = 0$. В качестве ответа принимается положительный корень уравнения $l = 0{,}24$ м.

. ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

5.1. Описание движений твёрдых тел на основе общих теорем динамики системы

Поступательное движение твердого тела описывается теоремой о движении центра масс механической системы. В проекциях на координатные оси дифференциальные уравнения поступательного движения твердого тела имеют вид: $m\ddot{x}_C = \sum F^e_{kx}$, $m\ddot{y}_C = \sum F^e_{ky}$, $m\ddot{z}_C = \sum F^e_{kz}$, где m – масса тела; x_C, y_C, z_C – координаты центра масс тела; F^e_{kx}, F^e_{ky}, F^e_{kz} – проекции на оси координат внешних сил, действующих на твердое тело.

Вращательное движение твердого тела относительно неподвижной оси z описывается теоремой об изменении кинетического момента.

Дифференциальное уравнения вращательного движения тела имеет вид:

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = \sum M_z(\vec{F}^e_k) \quad \text{или} \quad J_z\ddot{\varphi} = \sum M_z(\vec{F}^e_k),$$

где ω – угловая скорость тела; $\omega = \dot{\varphi}$; φ – угол поворота тела; $\sum M_z(\vec{F}^e_k)$ – моменты внешних сил относительно оси z; J_z – момент инерции тела относительно оси z.

Уравнение вращательного движения можно представить в алгебраической форме: $J_z\varepsilon = \sum M_z(\vec{F}^e_k)$, где ε – угловое ускорение тела; $\varepsilon = \dot{\omega}$.

Плоскопараллельное движение твердого тела описывается на основании теорем о движении центра масс и изменении кинетического момента относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения. В проекции на координатные оси уравнения плоскопараллельного движения тела имеют вид:

$$ma_{Cx} = \sum F^e_{kx}, \quad ma_{Cy} = \sum F^e_{ky}, \quad J_{zC}\varepsilon = \sum M_{zC}(\vec{F}^e_k),$$

где a_{Cx}, a_{Cy} – проекции ускорения центра масс тела на координатные оси; F^e_{kx},

F_{ky}^{e} – проекции на оси координат внешних сил, действующих на тело; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости движения; ε – угловое ускорение тела; $M_{zC}(\vec{F}_k^{\,e})$ – моменты внешних сил относительно оси, проходящей через центр масс.

Проводя динамический расчет механической системы, следует рассматривать движение тел системы в отдельности, предварительно освободив их от связей и заменив действие связей реакциями. Далее на основании общих теорем динамики системы следует составить уравнения движения каждого тела.

5.2. Задание Д4. Динамический расчет механической системы

Механизм состоит из трёх тел – груза 1, катка 2 и блока 3, соединенных нерастяжимыми нитями или невесомыми стержнями.

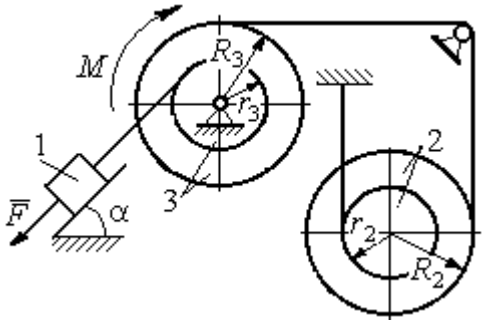
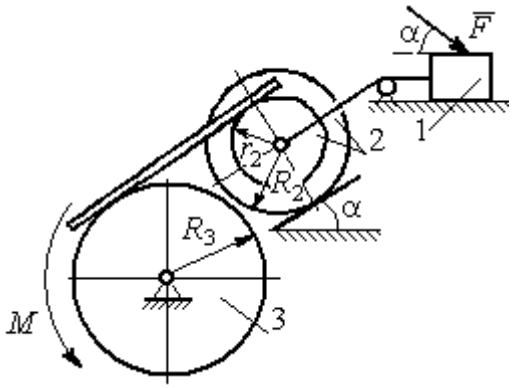
Движение механизма происходит в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом *M*. Направление действия силы $\vec{F}$ определяется углом α. Качение катка 2 происходит без скольжения. Проскальзывание между дисками и соединяющими их невесомыми стержнями или нитями отсутствует.

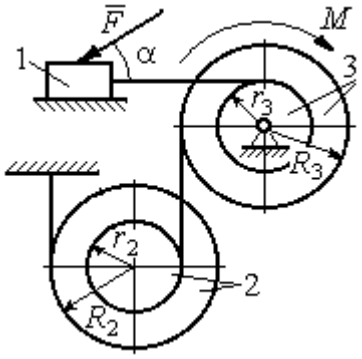
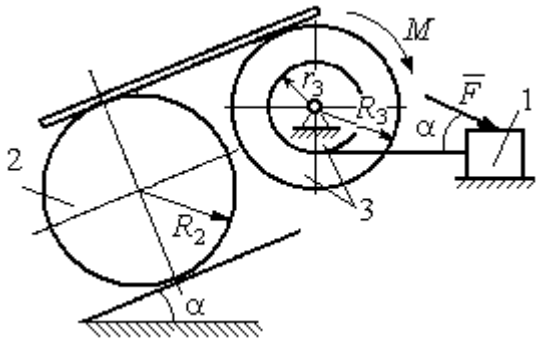
Радиусы ступеней катка 2 и блока 3 на схемах обозначены R_2, r_2 и R_3, r_3.

Сплошные диски считать однородными. Радиусы инерции неоднородных (ступенчатых) дисков относительно осей, проходящих через центры масс перпендикулярно плоскости движения, равны i_{z2}, i_{z3}.

Найти ускорение груза 1 и динамические реакции, действующие на ось блока 3.

Варианты заданий представлены на рис. 5.1, 5.2. Исходные данные приведены в табл. 5.1.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

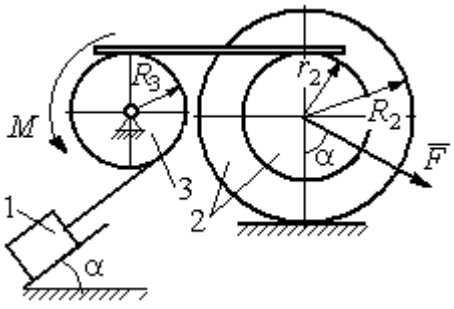
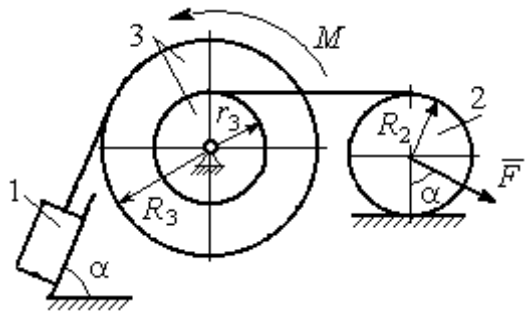
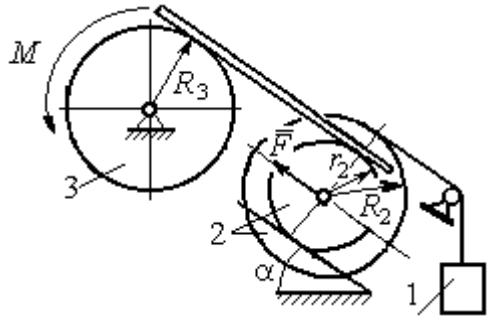
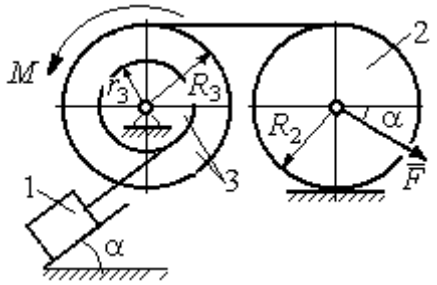
Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 5.1. Задание Д4. Динамический расчёт механической системы.
Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д4

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

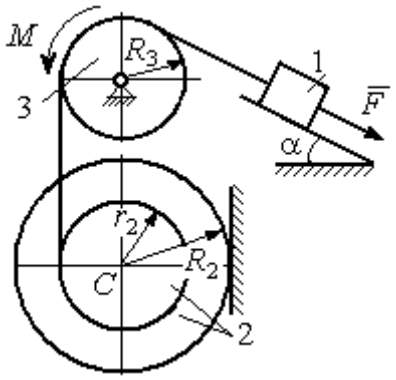
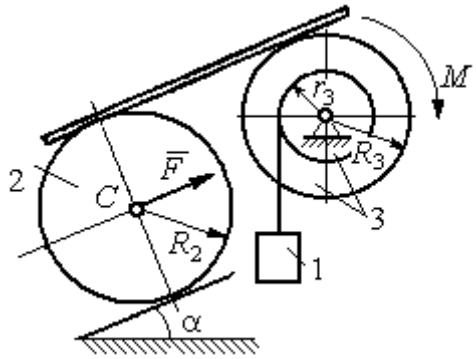
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 5.2. Задание Д4. Динамический расчёт механической системы.
Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 5.1

Исходные данные задания Д4. Динамический расчёт механической системы

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	R_2, м	r_2, м	R_3, м	r_3, м	i_{z2}, м	i_{z3}, м
1	P	P	$2P$	P	$2Pr$	60	$3r$	r	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
2	$3P$	P	$3P$	$3P$	Pr	30	$2r$	r	$2r$	–	$2r$	–
3	$4P$	$3P$	$4P$	$2P$	$2Pr$	60	$2r$	r	$2r$	r	$2r$	$2r$
4	$2P$	$2P$	$4P$	P	$4Pr$	45	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
5	P	$3P$	$3P$	$2P$	$3Pr$	30	$3r$	r	r	–	$2r$	–
6	P	$2P$	$4P$	$4P$	$6Pr$	60	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
7	P	$2P$	$3P$	$2P$	$3Pr$	45	$3r$	r	r	-	$r\sqrt{3}$	–

Окончание табл. 5.1

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	R_2, м	r_2, м	R_3, м	r_3, м	i_{z2}, м	i_{z3}, м
8	$2P$	$3P$	$3P$	P	$3Pr$	30	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{3}$
9	$3P$	P	$3P$	P	$2Pr$	30	$2r$	r	$2r$	–	$r\sqrt{2}$	–
10	P	P	$3P$	P	$2Pr$	60	$3r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{3}$
11	P	P	$3P$	$2P$	$3Pr$	30	$3r$	$2r$	$2r$	r	$r\sqrt{2}$	$r\sqrt{2}$
12	$2P$	P	$2P$	$4P$	Pr	60	$3r$	r	$3r$	–	$r\sqrt{3}$	–
13	$3P$	P	$3P$	$3P$	$2Pr$	30	$3r$	$2r$	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
14	$2P$	P	$3P$	$2P$	$4Pr$	60	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$2r$
15	P	$2P$	$4P$	P	$4Pr$	45	$3r$	$2r$	$2r$	–	$r\sqrt{3}$	–
16	P	$3P$	$4P$	$2P$	$3Pr$	30	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{2}$
17	P	P	$3P$	$2P$	$6Pr$	60	$3r$	r	$3r$	-	$r\sqrt{3}$	
18	$2P$	$2P$	$3P$	P	$3Pr$	60	$2r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{2}$
19	$2P$	P	$2P$	$3P$	$4Pr$	30	$3r$	r	$3r$	–	$2r$	–
20	P	P	$3P$	P	$2Pr$	45	$2r$	–	$2r$	r	–	$r\sqrt{3}$
21	$2P$	P	$4P$	$2P$	$4Pr$	60	$2r$	r	$3r$	r	$r\sqrt{2}$	$2r$
22	P	P	$2P$	$5P$	$2Pr$	45	$3r$	$2r$	$2r$	–	$2r$	–
23	$2P$	$2P$	$3P$	$3P$	$2Pr$	60	$3r$	r	$2r$	r	$2r$	$r\sqrt{2}$
24	$4P$	P	$3P$	P	$3Pr$	30	$2r$	–	$3r$	r	–	$r\sqrt{3}$
25	P	$3P$	$2P$	P	$2Pr$	60	$3r$	r	r	–	$r\sqrt{3}$	–
26	P	$3P$	$4P$	$3P$	$3Pr$	45	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$r\sqrt{3}$
27	P	P	$4P$	$2P$	$4Pr$	30	$2r$	r	$2r$	-	$r\sqrt{3}$	
28	$2P$	$3P$	$3P$	P	$6Pr$	30	$2r$	–	$3r$	$2r$	–	$r\sqrt{2}$
29	$2P$	P	$2P$	$2P$	$2Pr$	45	$2r$	r	r	–	$2r$	–
30	P	P	$4P$	P	$4Pr$	60	$3r$	–	$3r$	$2r$	–	$2r$

Пример выполнения задания Д4. Динамический расчёт механической системы

Механизм (рис. 5.3) состоит из груза 1, однородного диска – катка 2 и неоднородного диска – блока 3, соединённых друг с другом нерастяжимыми нитями. Система движется в вертикальной плоскости из состояния покоя.

Движение происходит под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, равных по модулю: $P_1 = 2P$, $P_2 = 2P$, $P_3 = 3P$, силы $\vec{F}$, приложенной в центре масс катка 2, равной по величине: $F = 3P$, и пары сил с моментом $M = Pr$, приложенных

к блоку 3. Механизм является неизменяемой механической системой. Радиус катка 2 $R_2 = 2r$. Качение катка по наклонной плоскости происходит без проскальзывания. Радиусы ступенчатого блока 3: $R_3 = 3r$, $r_3 = r$. Радиус инерции блока 3 $i_3 = r\sqrt{3}$.

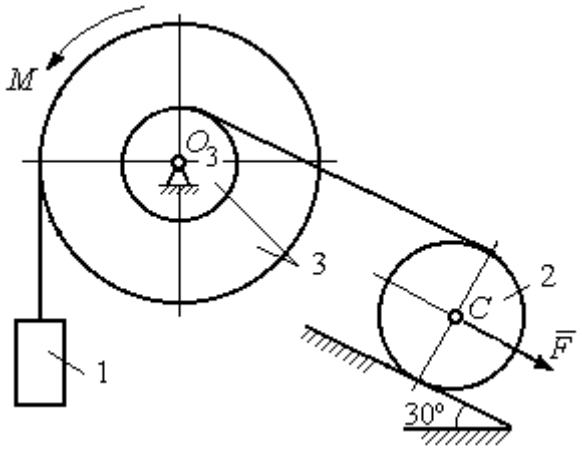


Рис. 5.3. Схема механической системы

Применяя метод динамического расчета механической системы найти ускорение груза 1 и динамические реакции, действующие на ось вращающегося блока 3.

Решение

Освобождаем систему от связей. На рис. 5.4 изображены внешние силы, действующие на каждое тело, после освобождения его от связей.

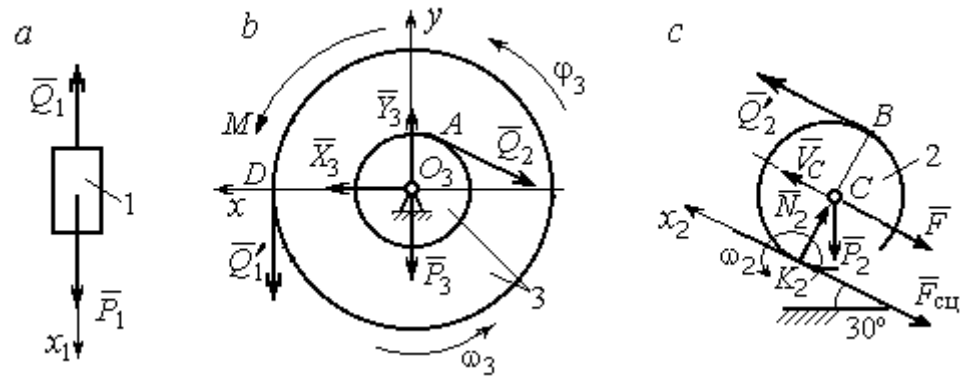


Рис. 5.4. Расчетные схемы для описания движения тел, входящих в систему:
a – поступательное движение груза 1; *b* – вращательное движение блока 3;
c – плоское движение катка 2

Груз 1 совершает поступательное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция нити $\vec{Q}_1$ (рис. 5.4, *a*). Предположим, груз 1 движется вниз, и направим ось x_1 в сторону движения груза.

Уравнение движения груза в проекции на ось x_1 в соответствии с теоремой о движении центра масс механической системы имеет вид:

$$m_1 a_1 = \sum F_{kx} = P_1 - Q_1 = 2P - Q_1,$$

где m_1, a_1 – соответственно, масса груза 1 и его ускорение, $m_1 = \frac{P_1}{g} = \frac{2P}{g}$.

Блок 3 вращается вокруг неподвижной оси *z*, проходящей через его центр масс O_3, перпендикулярно плоскости диска. Направление вращения блока, соответствующее выбранному движению вниз груза 1, показано на рис. 5.4, *b* дуговой стрелкой ω_3.

На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, силы реакции подшипника $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, момент *M* и реакции нитей $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_2$ (см. рис. 5.4, *b*). При составлении уравнения вращательного движения блока 3 моменты сил считаем положительными, если они поворачивают блок в сторону его вращения.

Уравнение вращения блока 3 имеет вид:

$$J_{zO_3}\varepsilon_3 = \sum M_{zO_3}(F_k) = Q_1'R_3 + M - Q_2r_3 = Q_1 3r + Pr - Q_2r,$$

где J_{zO_3} – момент инерции блока 3 относительно оси *z*; ε_3 – угловое ускорение диска 3, $J_{zO_3} = m_3 i_3^2 = \frac{P_3}{g}(r\sqrt{3})^2 = \frac{9Pr^2}{g}$.

Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_2$, сила $\vec{F}$, реакция нити $\vec{Q}_2'$ и реакция наклонной плоскости, состоящая из нормальной реакции опоры $\vec{N}_2$ и силы сцепления катка с поверхностью $\vec{F}_{\text{сц}}$. Согласно принципу равенства действия и противодействия, модули сил $\vec{Q}_2$ и $\vec{Q}_2'$ равны. На рис. 5.4, *c* показаны направления действия сил, приложенных к диску 2. В соответствии с направлением движения груза 1, центр масс катка 2 движется вверх параллельно наклонной плоскости. Направление движения центра масс катка 2 показано направлением оси x_2. Направление вращения катка 2 показано дуговой стрелкой угловой скорости ω_2 (см. рис 5.4, *c*).

Плоскопараллельное движение катка 2 описывается уравнением движения его центра масс и уравнением вращения вокруг оси, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости диска. Составляя уравнение движения, получим:

$$m_2 a_C = Q_2' - F - F_{\text{сц}} - P_2\cos 60^\circ = Q_2 - 3P - F_{\text{сц}} - P,$$

$$J_C\varepsilon_2 = Q_2'R_2 + F_{\text{сц}}R_2 = Q_2 2r + F_{\text{сц}}2r,$$

где m_2 – масса катка 2, $m_2 = \frac{P_2}{g} = \frac{2P}{g}$; a_C, ε_2 – ускорение центра масс и угловое ускорение катка 2; J_C – момент инерции однородного катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости диска, $J_C = \frac{m_2 R_2^2}{2} = \frac{PR_2^2}{g} = \frac{4Pr^2}{g}$. В уравнении вращательного движения диска момент силы считается положительным, если создаваемый им поворот направлен в сторону вращения диска,

К системе четырех уравнений, описывающих движения тел в системе, необходимо добавить уравнения связей. Если предположить, что скорость центра масс катка 2 равна V_C, то угловая скорость катка определится по формуле: $\omega_2 = \frac{V_C}{CK_2} = \frac{V_C}{R_2}$, где CK_2 – расстояние от центра масс катка 2 до его мгновенного центра скоростей (см. рис. 5.4, *c*). Продифференцировав по времени последнее равенство, получим уравнение связи между ускорением центра масс катка 2 и его угловым ускорением: $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \frac{\dot{V}_C}{R_2} = \frac{a_C}{R_2} = \frac{a_C}{2r}$.

Скорость точки B катка 2 (см. рис. 5.4, *c*) $V_B = \omega_2 \cdot BK_2 = \frac{V_C}{R_2} 2R_2 = 2V_C$. Точка B катка 2 и точка A блока 3 соединены нитью (см. рис. 5.3), поэтому их скорости равны. Приравняв скорости точек A и B, получим равенство: $2V_C = V_B = V_A = \omega_3 r_3 = \omega_3 r$, откуда $\omega_3 = \frac{2V_C}{r}$. После дифференцирования последнего выражения найдём соотношение между ускорениями: $\varepsilon_3 = \frac{2a_C}{r}$.

Скорость груза 1 связана со скоростью центра масс диска 2 следующим образом: $V_1 = V_D = \omega_3 R_3 = \frac{2V_C}{r} 3r = 6V_C$. Тогда $a_1 = 6a_C$.

В результате получены четыре уравнения, описывающие движение тел в системе:

$$\frac{2P}{g}a_1 = 2P - Q_1, \quad \frac{9Pr^2}{g}\varepsilon_3 = Q_1 3r + Pr - Q_2 r;$$

$$\frac{2P}{g}a_C = Q_2 - 3P - F_{\text{сц}} - P, \quad \frac{4Pr^2}{g}\varepsilon_2 = Q_2 2r + F_{\text{сц}} 2r$$

и три уравнения связей: $\varepsilon_2 = \frac{a_C}{2r}$, $\varepsilon_3 = \frac{2a_C}{r}$, $a_1 = 6a_C$.

После подстановки уравнений связи в уравнения движения тел получим систему четырёх уравнений с четырьмя неизвестными:

$$\frac{12P}{g}a_C = 2P - Q_1, \quad \frac{18P}{g}a_C = 3Q_1 + P - Q_2,$$

$$\frac{2P}{g}a_C = Q_2 - 4P - F_{\text{сц}}, \quad \frac{P}{g}a_C = Q_2 + F_{\text{сц}},$$

которая может быть решена любым известным из курса математики способом.

Например, исключив из первых двух уравнений величину Q_1, а из третьего и четвёртого уравнений – величину $F_{\text{сц}}$, получим систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\frac{54P}{g}a_C = 7P - Q_2, \; \frac{3P}{g}a_C = 2Q_2 - 4P,$$

откуда $a_C = \frac{10}{111}g$, $Q_2 = \frac{79}{37}P$. Величину натяжения нити Q_1 находим из первого уравнения исходной системы: $Q_1 = \frac{34}{37}P$.

Для вычисления динамической реакции R_3 оси блока 3 заметим, что центр масс блока 3 неподвижен и его ускорение равно нулю, $\vec{a}_{O_3} = 0$. Тогда уравнения движения центра масс блока 3 в проекциях на оси *x*, *y* имеют вид :

$$m_3 a_{O_3 x} = X_3 - Q_2 \cos 30^\circ = 0, \; m_3 a_{O_3 y} = Y_3 - Q_1 - P_3 - Q_2 \cos 60^\circ = 0,$$

где X_3, Y_3, – проекции реакции R_3 оси вращающегося блока 3 на оси *x*, *y* (см. рис. 5.4, *b*). Отсюда, с учетом значений $Q_1 = 0{,}919P$ и $Q_2 = 2{,}135P$, проекции динамической реакции оси блока 3: $X_3 = Q_2 \cos 30^\circ = 1{,}85P$, $Y_3 = Q_1 + P_3 + Q_2 \cos 60^\circ =$

4,98P. Полная величина динамической реакции оси блока 3: $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2}$ = 5,31P.

5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы

Кинетическая энергия тела при поступательном движении: $T = \frac{1}{2} m V_C^2$, где m – масса тела; V_C – скорость центра масс тела. **Кинетическая энергия тела при вращательном движении** вокруг неподвижной оси z: $T = \frac{1}{2} J_z \omega^2$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ω – угловая скорость тела. Для дисков с равномерно распределённой массой момент инерции относительно оси z, проходящей через центр масс: $J_z = \frac{1}{2} m R^2$, где R – радиус диска. Для тел с неравномерно распределённой массой $J_z = m i_z^2$, где i_z – радиус инерции. **Кинетическая энергия тела при плоскопараллельном движении:** $T = \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega^2$, где m – масса тела; V_C, ω – скорость центра масс и угловая скорость тела; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

Работа постоянной по модулю и направлению силы $\vec{F}$ на конечном прямолинейном перемещении S точки приложения силы: $A(F) = FS\cos\alpha$, где α – угол между вектором силы и перемещением. Если угол α острый, работа положительна. Если тупой – отрицательна. При α = 90° сила перпендикулярна перемещению точки и работа силы равна нулю.

Работа пары сил с постоянным моментом M при повороте тела на конечный угол φ: $A = \pm M\varphi$, где φ – угол поворота тела. Работа считается положительной, если пара сил стремится повернуть тело в направлении его вращения, и отрицательной – в противном случае.

Мощностью силы $\vec{F}$ называют величину $N(F)$, равную скалярному произведению силы на скорость точки её приложения: $N(F) = \vec{F} \cdot \vec{V} = = F \cdot V\cos\alpha$, где V – скорость точки приложения силы; α – угол между вектором силы и вектором скорости точки приложения силы.

При плоском движении тела мощность силы выражается суммой скалярных произведений векторов: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}_O + \vec{M}_O(\vec{F}) \cdot \vec{\omega} = F \cdot V_O\cos\alpha \pm Fh_O\omega$, где $\vec{V}_O$ – вектор скорости точки, выбранной полюсом; $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости тела; $\vec{M}_O$ – вектор момента силы $\vec{F}$ относительно полюса; h_O – плечо силы $\vec{F}$ относительно полюса O.

Теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. Производная по времени от кинетической энергии системы равна сумме мощностей внешних и внутренних сил $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e) + \sum N(\vec{F}_k^i)$, где T – кинетическая энергия системы; $\sum N(\vec{F}_k^e)$, $\sum N(\vec{F}_k^i)$ – сумма мощностей, соответственно, внешних и внутренних сил.

Теорема об изменении кинетической энергии системы на конечном перемещении. Изменение кинетической энергии системы на её конечном перемещении равно сумме работ внешних и внутренних сил, действующих на систему $T - T_0 = \sum A(\vec{F}_k^e) + \sum A(\vec{F}_k^i)$, где T, T_0 – кинетическая энергия системы, соответственно, в текущем и начальном состояниях; $\sum A(\vec{F}_k^e)$, $\sum A(\vec{F}_k^i)$ – сумма работ внешних и внутренних сил при перемещении системы из начального состояния в текущее.

Механические системы, состоящие из абсолютно твердых тел, соединенных гибкими нерастяжимыми нитями, называются **неизменяемыми**. В неизменяемых системах сумма работ внутренних сил и, следовательно, сумма мощностей этих сил равны нулю. Поэтому для таких систем в теореме об изменении кинетической энергии достаточно учитывать только внешние силы.

5.4. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Неизменяемая механическая система состоит из ступенчатого и однородного дисков, соединённых нерастяжимой нитью или невесомым стержнем. Нити и стержни, соединяющие диски, параллельны плоскостям качения дисков. Качение дисков без скольжения. Скольжение между невесомым стержнем и дисками отсутствует.

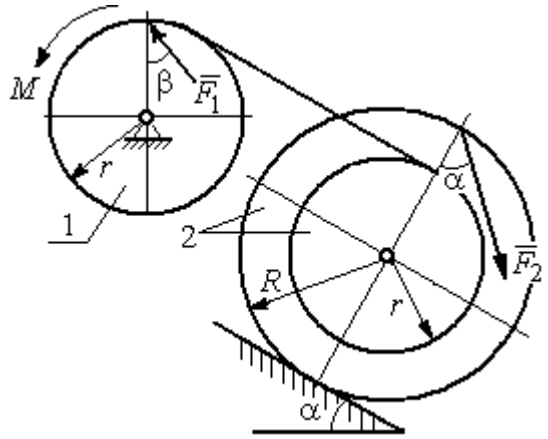
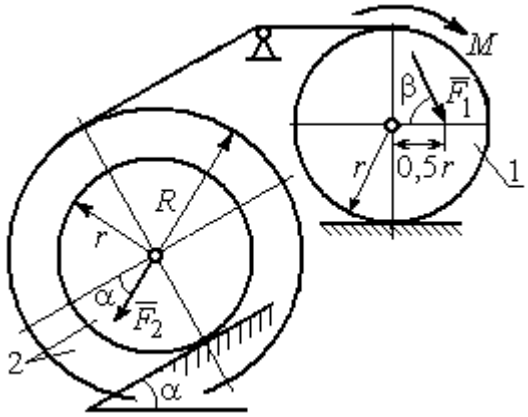
Вес дисков P_1 и P_2. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и пары сил с моментом M. Направления действия сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и наклон плоскости (если он есть) определяются углами α или β, показанными на схемах механизмов.

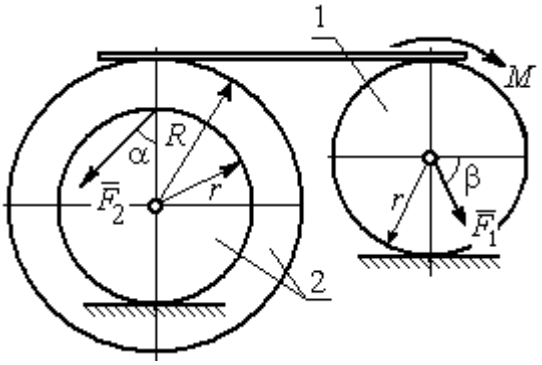
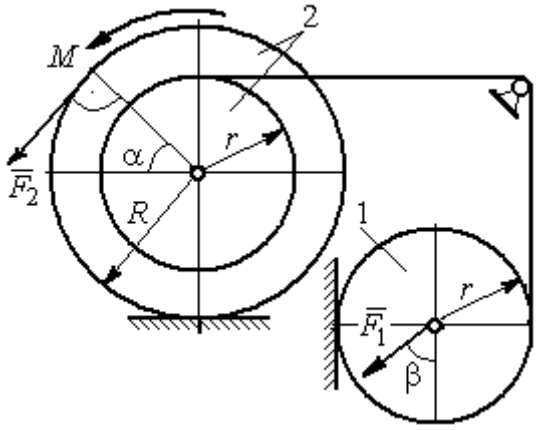
Радиус однородного диска r. Радиусы ступеней ступенчатого диска R и r. Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

1. Найти ускорение центра масс диска 2.

2. Найти реакцию опоры диска 2 на плоскость (её нормальную составляющую и силу сцепления диска с плоскостью).

Варианты задания приведены на рис. 5.5, 5.6, исходные данные представлены в табл. 5.2.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

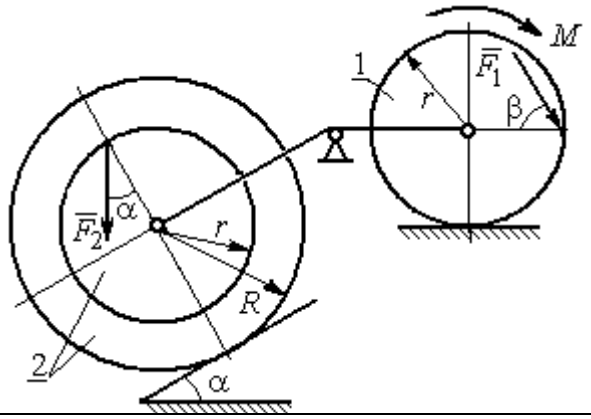
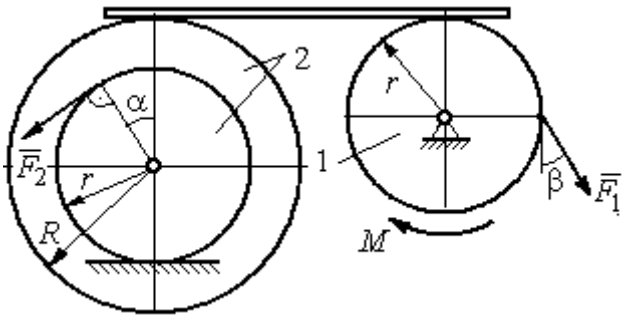
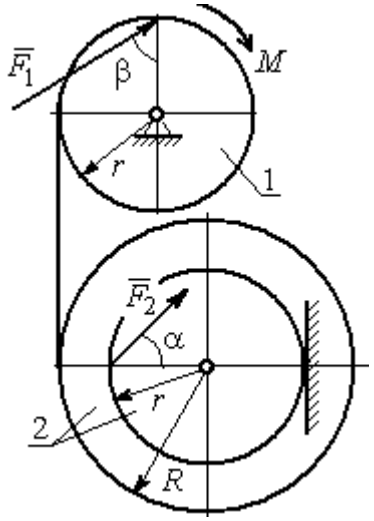
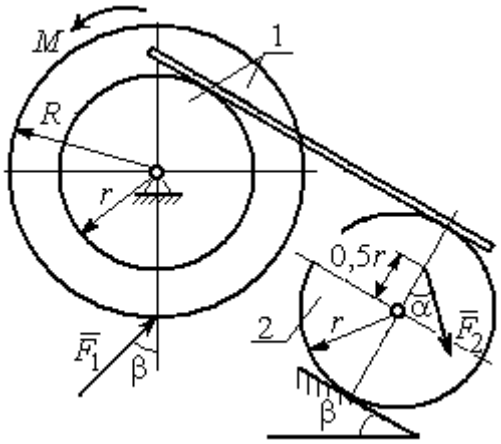
Вариант № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 5.5. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии. Варианты задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д5

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

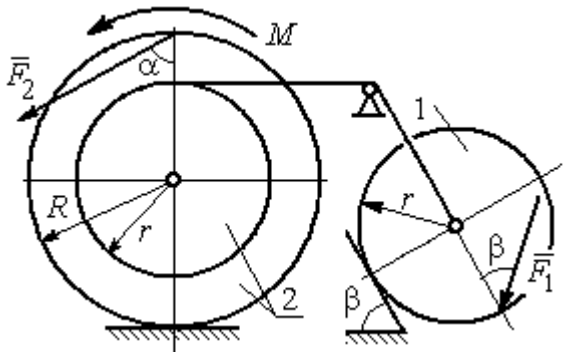
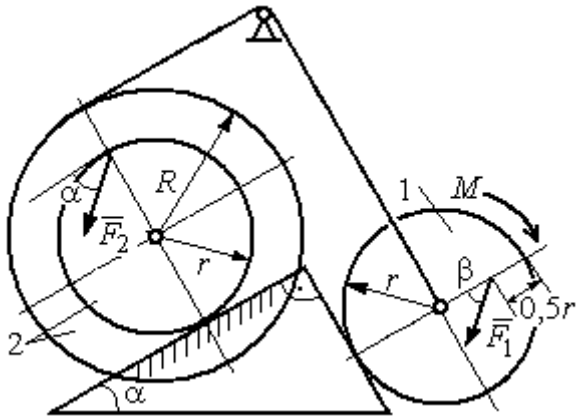
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты 10, 20, 30**
	

Рис. 5.6. Задание Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии. Варианты задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 5.2

Исходные данные задания Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	F_1, Н	F_2, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
1	10	20	15	20	25	30	60	0,4	0,3	0,3
2	20	30	10	20	20	60	30	0,6	0,3	0,4
3	10	15	12	20	25	60	60	1,2	0,6	0,8
4	12	25	20	25	35	30	30	1,5	0,5	1,2

Окончание табл. 5.2

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	F_1, Н	F_2, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
5	15	20	10	20	30	60	30	0,8	0,4	0,7
6	18	20	18	22	22	45	60	1,2	0,4	0,9
7	15	25	10	8	20	45	45	0,9	0,6	0,7
8	25	22	10	12	30	45	60	1,0	0,8	0,9
9	12	25	18	10	32	30	30	0,8	0,6	0,7
10	10	15	8	10	28	60	30	1,4	0,7	1,2
11	15	22	20	25	30	60	45	0,6	0,4	0,5
12	20	25	15	40	30	30	60	0,8	0,4	0,6
13	10	20	10	25	30	45	30	1,0	0,5	0,9
14	12	15	18	15	25	30	30	0,9	0,3	0,8
15	20	25	20	20	30	45	60	1,0	0,5	0,8
16	10	15	10	15	16	60	45	1,2	0,4	1,1
17	18	25	12	10	30	30	30	1,5	0,9	1,3
18	25	20	10	15	20	60	60	0,8	0,5	0,7
19	12	25	10	10	32	60	60	1,2	0,9	1,1
20	15	20	8	20	25	30	45	0,8	0,4	0,7
21	10	25	25	15	30	45	30	0,7	0,5	0,6
22	18	20	20	20	35	60	45	1,4	0,7	0,9
23	10	15	10	30	30	30	30	1,4	0,7	0,8
24	10	15	12	20	20	30	30	1,2	0,4	0,8
25	12	18	20	18	30	60	30	1,2	0,6	1,1
26	10	12	12	15	15	30	30	0,9	0,3	0,8
27	15	22	10	12	20	45	60	0,8	0,6	0,7
28	22	20	8	16	8	30	45	0,6	0,2	0,4
29	18	25	10	8	32	60	60	1,2	0,8	1,1
30	20	25	8	20	28	30	30	0,8	0,4	0,6

Пример выполнения задания Д5. Исследование движения механической системы с применением теоремы об изменении кинетической энергии

Механическая система состоит из ступенчатого и однородного дисков, соединённых невесомым стержнем (рис. 5.7). Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести, сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ и пары сил с моментом M. Направления действия сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ определяются углами α и β.

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси O_1. Диск 2 катится прямолинейно по горизонтальной поверхности. Качение диска 2 без проскальзывания. Невесомый стержень, соединяющий диски, расположен горизонтально. Скольжение между стержнем и дисками отсутствует.

Определить ускорение центра масс диска 2, угловое ускорение дисков, усилие в стержне, динамическую реакцию шарнира O_1, реакцию опоры диска 2 (её нормальную составляющую и силу сцепления диска с поверхностью качения), если модули сил тяжести P_1 = 40 Н, P_2 = 60 Н, модули сил F_1 = 80 Н, F_2 = 30 Н, величина момента M = 35 Н·м, углы наклона сил α = 30°, β = 45°, радиусы дисков R = 0,8 м, r = 0,6 м, радиус инерции диска 2 i_z = 0,4 м.

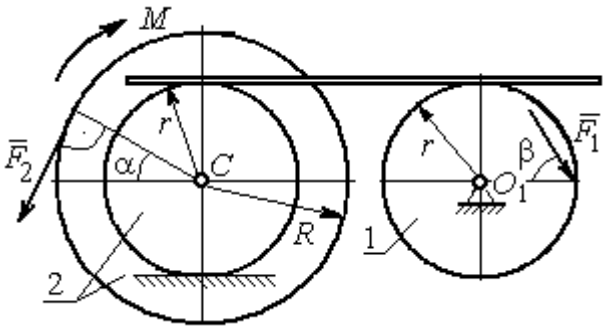


Рис. 5.7. Схема движения механической системы

Решение

Предположим, что во время движения системы диск 1 вращается по ходу часовой стрелки. Угловые скорости ω_1 и ω_2 дисков 1 и 2 и скорость центра масс диска 2 показаны на рис. 5.8.

На диск 1 действуют силы: $\vec{F}_1$, сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция шарнира O_1, разложенная на составляющие $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$. На диск 2: сила $\vec{F}_2$, сила тяжести $\vec{P}_2$, пара сил с моментом M, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила сцепления диска 2 с поверхностью $\vec{F}_{\text{сц}}$. Направления действия сил показаны на рис. 5.8.

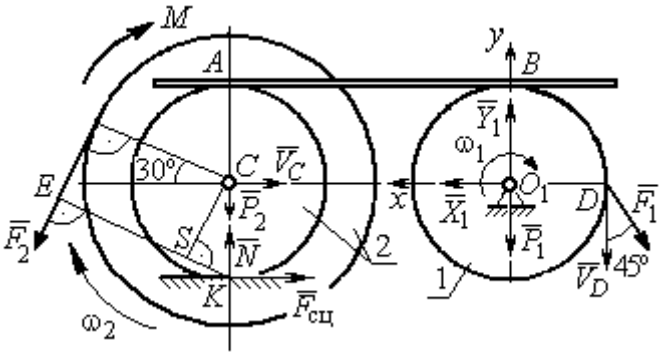


Рис. 5.8. Расчетная схема для исследования движения системы

Для решения задачи воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. По условию задачи рассматриваемая система неизменяемая и, следовательно, сумма мощностей внутренних сил равна нулю. В этом случае теорема об изменении кинетической энергии системы принимает вид $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

Найдём кинетическую энергию системы и выразим её через скорость центра масс диска 2.

Кинетическая энергия вращательного движения диска 1: $T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2$, где ω_1 – угловая скорость диска 1; J_{zO_1} – осевой момент инерции диска 1, $J_{zO_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$. Диск 2 движется плоскопараллельно. Его кинетическая энергия определяется по формуле: $T_2 = \frac{1}{2} m_2 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2$, где V_C, ω_2 – скорость центра масс и угловая скорость диска 2; J_{zC} – момент инерции ступенчатого диска 2 относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zC} = m_2 i_z^2$.

У диска 2 мгновенный центр скоростей находится в точке касания его с неподвижной поверхностью (точка *K* на рис. 5.8). Тогда скорость точки *C* определяется по формуле $V_C = \omega_2 \cdot CK = \omega_2 r$, откуда $\omega_2 = \frac{V_C}{r}$. Скорость точки *A* $V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2 2r$, или $V_A = 2V_C$.

Так как нет проскальзывания между стержнем и дисками, скорость точки A на диске 2 равна скорости точки *B* на диске 1, причём $V_B = \omega_1 r$. Приравнивая скорости $V_B = V_A$, найдем $\omega_1 = \frac{2V_C}{r}$.

С учетом найденных зависимостей кинетические энергии дисков 1 и 2 и суммарная энергия системы имеют вид

$$T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_1 r^2}{2g} \left(\frac{2V_C}{r} \right)^2 = \frac{P_1}{g} V_C^2;$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_2}{g} V_C^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{P_2}{g} i_z^2 \left(\frac{V_C}{r} \right)^2;$$

$$T = T_1 + T_2 = \frac{P_1}{g} V_C^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} \left(1 + \frac{i_z^2}{r^2} \right) V_C^2.$$

Производная по времени от кинетической энергии системы

$$\frac{dT}{dt} = 2V_C \frac{dV_C}{dt}\left[\frac{P_1}{g} + \frac{P_2}{2g}\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right].$$

Найдем сумму мощностей внешних сил. Отметим, что мощности силы тяжести $\vec{P}_1$ и сил реакции $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ подшипника O_1 равны нулю, так как нет перемещения точек приложения этих сил. Мощности сил $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{сц}}$ – нормальной реакции опоры диска 2 и силы сцепления диска с плоскостью также равны нулю, так как точкой приложения этих сил является мгновенный центр скоростей диска 2, скорость которого равна нулю. Мощность силы $\vec{P}_2$ равна нулю, так как угол между вектором силы и скоростью точки приложения силы – точки C – равен 90° (см. рис. 5.8). Для определения мощности силы $\vec{F}_2$, приложенной к диску 2, воспользуемся формулой расчета мощности силы при плоскопараллельном движении тела. Выберем в качестве полюса точку K – мгновенный центр скоростей диска 2, скорость которого $V_K = 0$ (см. рис. 5.8). В этом случае мощность силы $\vec{F}_2$ равна: $N(\vec{F}_2) = \vec{M}_K \cdot \vec{\omega}_2 = -F_2 h_K \omega_2$, где $\vec{M}_K = M_K(\vec{F}_2)$ – вектор момента силы $\vec{F}_2$ относительно центра K; $\vec{\omega}_2$, ω_2 – вектор и модуль угловой скорости диска 2; h_K – плечо силы $\vec{F}_2$ относительно центра K. Мощность силы $\vec{F}_2$ отрицательная, так как направление момента силы $\vec{F}_2$ относительно точки K противоположно направлению угловой скорости диска 2.

В результате, мощность силы $\vec{F}_2$:

$$N(\vec{F}_2) = -F_2 h_K \omega_2 = -F_2(R + r\cos 60^\circ)\omega_2 = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right).$$

Здесь $h_K = EK = ES + SK = R + r\cos 60^\circ$ (см. рис. 5.8).

Заметим, что для вычисления мощности силы F_2 можно использовать в качестве полюса центр масс диска – точку C. Имеем:

$$N(\vec{F}_2) = \vec{F}_2 \cdot \vec{V}_C + \vec{M}_C(F_2) \cdot \vec{\omega}_2 = F_2 V_C \cos 120^\circ - F_2 R\omega_2 = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right).$$

Момент M направлен в сторону вращения диска 2. Его мощность положительная: $N(M) = M\omega_2 = M\dfrac{V_C}{r}$. Мощность силы $\vec{F}_1$, приложенной в точке D, $N(\vec{F}_1) = F_1 V_D \cos 45^\circ = F_1 V_C \sqrt{2}$. Здесь учтено очевидное равенство $V_D = V_A = 2V_C$ (см. рис. 5.8).

Суммарная мощность внешних сил:

$$\sum N(F^e) = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + M\frac{V_C}{r} + F_1 V_C\sqrt{2}.$$

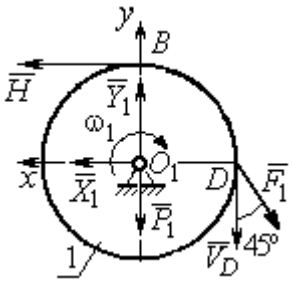


Рис. 5.9. Силы, действующие на диск 1 во время движения

В результате теорема об изменении кинетической энергии системы приводится к виду

$$2V_C\frac{dV_C}{dt}\left[\frac{P_1}{g} + \frac{P_2}{2g}\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right] = -F_2 V_C\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + M\frac{V_C}{r} + F_1 V_C\sqrt{2},$$

откуда ускорение центра масс диска 2:

$$a_C = \frac{dV_C}{dt} = \frac{\left[-F_2\left(\frac{1}{2} + \frac{R}{r}\right) + \frac{M}{r} + F_1\sqrt{2}\right]g}{\left[2P_1 + P_2\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right]}.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим: $a_C = 6{,}85$ м/с^2.

Для определения углового ускорения диска 2 продифференцируем по времени равенство $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK} = \dfrac{V_C}{r}$. Дифференцирование здесь допустимо, так как во время движения диска 2 расстояние от точки C до мгновенного центра скоростей диска 2 – точки K – не меняется.

Найдем $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \dfrac{\dot{V}_C}{r} = \dfrac{a_C}{r} = 11{,}42$ рад/с^2. Угловое ускорение диска 1 находится путём дифференцирования равенства $\omega_1 = 2\omega_2$. Имеем: $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2 = 22{,}84$ рад/с^2.

Для того чтобы определить реакцию стержня, освобождаемся от стержня, заменяем его реакцией $\vec{H}$ и составляем уравнения движения дисков 1 и 2.

Силы, действующие на диск 1 во время движения, показаны на рис. 5.9. Уравнение вращательного движения диска 1 в алгебраической форме: $J_{zO_1}\varepsilon_1 = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$, где ε_1 – угловое ускорение диска; J_{zO_1} – момент инерции диска 1 относительно оси *z*, проходящей через точку O_1 перпендикулярно плоскости диска, $J_{zO_1} = \dfrac{m_1 r^2}{2}$; $\sum M_{zO_1}(\vec{F}_k^e)$ – сумма моментов внешних сил относительно оси *z*.

Считая моменты сил положительными, если они создают поворот диска в сторону его вращения, составим сумму моментов внешних сил относительно оси *z*: $\sum M_{zO_1}(\vec{F}_k^e) = F_1 r\cos 45^\circ - Hr$. В результате уравнение вращательного движения диска 1 принимает вид: $\dfrac{P_1 r^2}{2g}\varepsilon_1 = F_1 r\cos 45^\circ - Hr$.

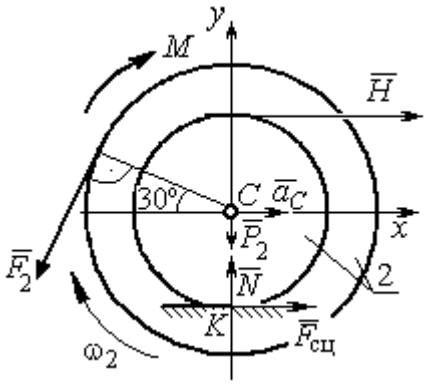


Рис. 5.10. Силы, действующие на диск 2 во время движения

Подставляя в уравнение исходные данные задачи с учетом найденного значения углового ускорения диска 1 ε_1 = 22,84 рад/с^2, найдем реакцию стержня *H* = 28,63 Н.

Для определения динамической реакции шарнира O_1 диска 1 применим теорему о движении центра масс. Выберем оси координат O_1x и O_1y, как показано на рис. 5.9, и составим уравнение движения центра масс диска 1 в проекциях на оси координат с учётом того, что сам центр масс неподвижен и его ускорение равно нулю.

Получим систему:

$$H + X_1 - F_1\sin 45^\circ = 0,\quad Y_1 - P_1 - F_1\cos 45^\circ = 0.$$

Отсюда, с учётом найденной величины усилия в стержне *H* = 28,63 Н, находим составляющие динамической реакции шарнира: X_1 = 27,94 Н, Y_1 = 96,57 Н. Полная реакция шарнира $R_{O_1} = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}$ =100,53 Н.

Для определения величины силы сцепления диска 2 с поверхностью качения

и нормальной составляющей реакции опоры диска используем теорему о движении центра масс. Силы, приложенные к диску 2, и выбранная система координат *xCy* показаны на рис. 5.10. Уравнения движения центра масс диска 2 в проекциях на оси x, y имеют вид:

$$m_2 a_C = H + F_{\text{сц}} - F_2 \cos 60^\circ;$$

$$0 = -F_2 \cos 30^\circ - P_2 + N.$$

С учетом найденных значений реакции стержня $H = 28{,}63$ Н и ускорения центра масс диска 2 $a_C = 6{,}85$ м/с^2, находим силу сцепления и нормальную реакцию опоры: $F_{\text{сц}} = 28{,}27$ Н, $N = 85{,}98$ Н.

Полная реакция опоры $R_K = \sqrt{N^2 + F_{\text{сц}}^2} = 90{,}51$ Н.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

6.1. Принципы механики. Общее уравнение динамики

Силой инерции материальной точки называют векторную величину, модуль которой равен произведению массы точки на модуль её ускорения, направленную противоположно этому ускорению $\vec{R}^{и} = -m\vec{a}$, где m – масса точки; $\vec{a}$ – вектор ускорения точки.

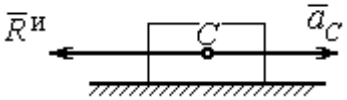


Рис. 6.1. Главный вектор сил инерции при поступательном движении твердого тела

При поступательном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ система сил инерции, приложенных к каждой точке тела, приводится к главному вектору сил инерции $\vec{R}^{и}$, равному по величине $R^{и} = ma_C$, приложенному в центре масс тела и направленному в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$ (рис. 6.1).

При вращении тела вокруг неподвижной оси z, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции, приведённый к центру масс тела, обращается в нуль (так как ускорение центра масс равно нулю). Таким образом, система сил инерции приводится к паре сил с моментом $\vec{M}^{и}$, равным главному моменту сил инерции относительно оси вращения. Величина главного момента сил инерции $M^{и} = J_z\varepsilon$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ε – угловое ускорение тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (рис. 6.2).

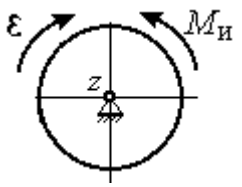


Рис. 6.2. Главный момент сил инерции при вращении тела вокруг оси, проходящей через центр масс

При плоскопараллельном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ и угловым ускорением ε система сил инерции, приложенных к каждой точке тела, приводится к силе $\vec{R}^{и}$, равной главному вектору сил инерции, и паре сил с моментом $\vec{M}^{и}$, равным главному моменту сил инерции относительно оси, проходящей через центр масс тела перпендикулярно плоскости движения (рис. 6.3). Главный

вектор сил инерции равен по модулю произведению массы тела на ускорение его центра масс: $R^{и} = ma_c$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_c$ центра масс. Главный момент сил инерции равен по величине произведению момента инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, на угловое ускорение тела: $M^{и} = J_c\varepsilon$, где J_c – момент инерции тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (см. рис. 6.3).

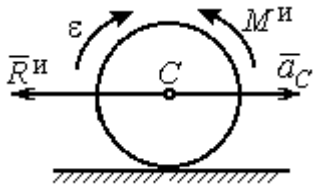


Рис. 6.3. Главный вектор и главный момент сил инерции при плоскопараллельном движении твердого тела

Принцип Даламбера для системы. Если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних и внутренних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной. Принцип Даламбера даёт возможность составлять уравнения движения механической системы в виде уравнений равновесия:

$$\sum \vec{F}_k^e + \vec{R}^{и} = 0, \ \sum \vec{M}_O(\vec{F}_k^e) + \vec{M}_O^{и} = 0,$$

где $\vec{F}_k^e$ – внешние силы, приложенные к системе; $\vec{R}^{и}$ – главный вектор сил инерции; $\vec{M}_O(\vec{F}_k^e)$ – момент внешних сил, приложенных к системе, относительно произвольного центра *O*; $\vec{M}_O^{и}$ – главный момент сил инерции относительно центра *O*.

Силы, действующие на систему, можно подразделить на активные и реакции связей. **Идеальными связями** в механической системе называют такие связи, для которых сумма элементарных работ их реакций на любом возможном перемещении равна нулю.

Принцип возможных перемещений. Для равновесия механической системы с идеальными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма элементарных работ всех активных сил, приложенных к точкам системы, была равна нулю на любом возможном перемещении системы: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{акт}) = 0$, где $\delta A(\vec{F}_k^{акт})$ – элементарная работа активных сил на возможном перемещении.

Совместное применение принципа Даламбера и принципа возможных перемещений приводит к формулировке общего уравнения динамики.

Общее уравнение динамики. При движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ всех приложенных активных сил и сил инерции на любом возможном перемещении равна нулю: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0$, где $\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}})$, $\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}})$ – элементарные работы активных сил и сил инерции, приложенных к системе, на её возможном перемещении.

При вычислении элементарных работ активных сил и сил инерции используют обычные формулы для вычисления работы сил на элементарном перемещении точек их приложения. При этом переменные силы на элементарном перемещении точек их приложения считаются постоянными.

6.2. Задание Д6. Исследование механической системы с применением общего уравнения динамики

Механическая система с идеальными связями включает груз и два диска – однородного радиусом R или r и ступенчатого. Ступенчатый диск состоит из двух одноосных цилиндров радиусом R и r. Радиусы дисков указаны на схеме. Тела соединены нерастяжимыми нитями или невесомыми стержнями. Система движется в вертикальной плоскости из состояния покоя под действием сил тяжести, постоянной силы $\vec{F}$, а также пары сил с переменным моментом M. Направление действия силы $\vec{F}$ и наклон плоскости движущихся тел определяются углами α и β. Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

Качение дисков без проскальзывания. Скольжение между невесомым стержнем и дисками отсутствует. Движение грузов по плоскости без трения. Нити и стержни, соединяющие груз и диски, параллельны соответствующим плоскостям, по которым двигаются тела.

Найти уравнение движения центра масс диска 3. Определить реакцию шарнира диска 2 в момент времени $t = 1$ с.

Варианты задания приведены на рис. 6.4, 6.5. Исходные данные выбираются из табл. 6.1.

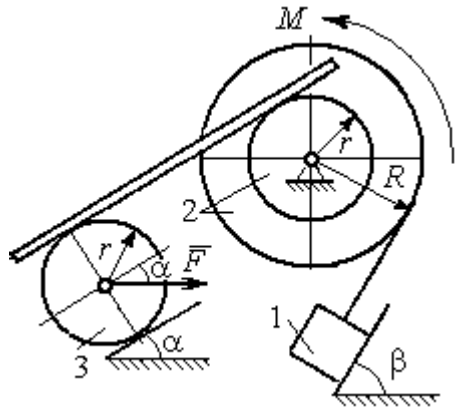
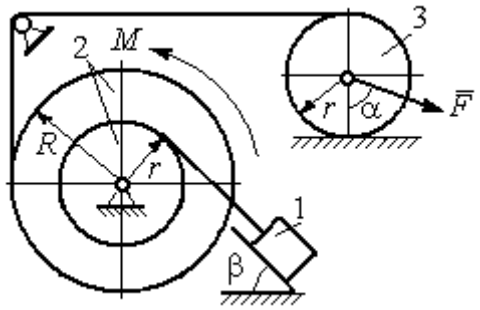
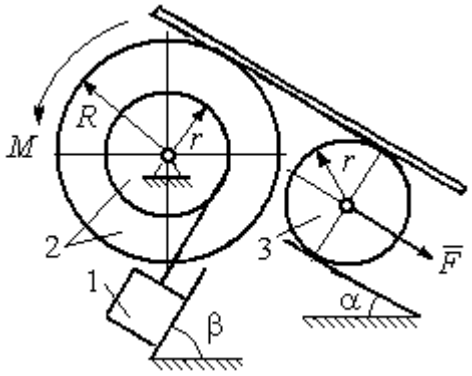
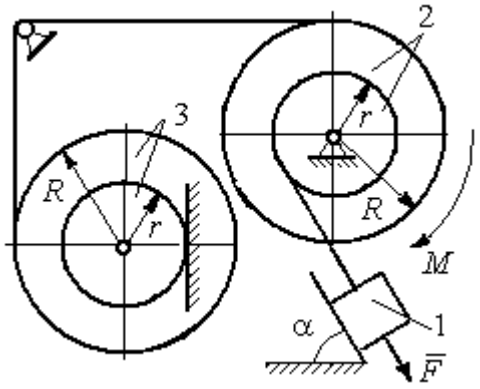
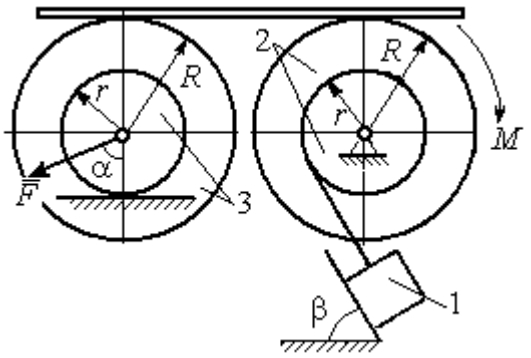
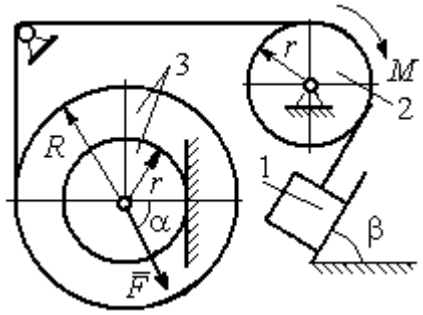
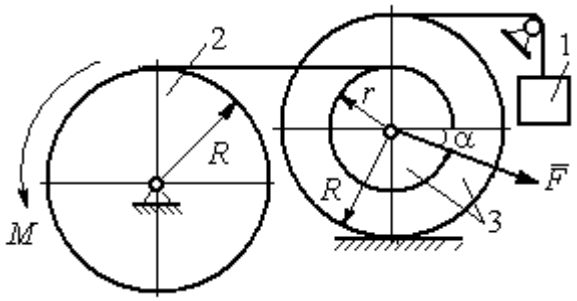
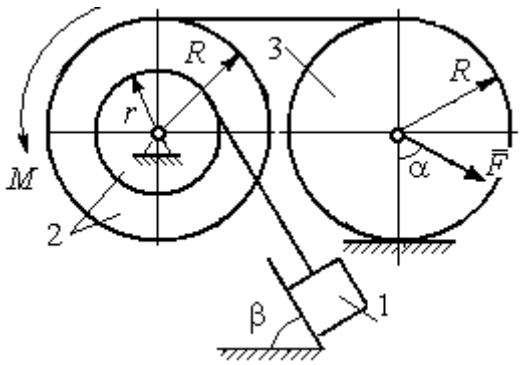
Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**
	
Варианты 3, 13, 23	**Варианты № 4, 14, 24**
	

Рис. 6.4. Задание Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики.
Номера вариантов задания 1 – 4, 11 – 14, 21 – 24

Варианты № 5, 15, 25	**Варианты № 6, 16, 26**
	

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

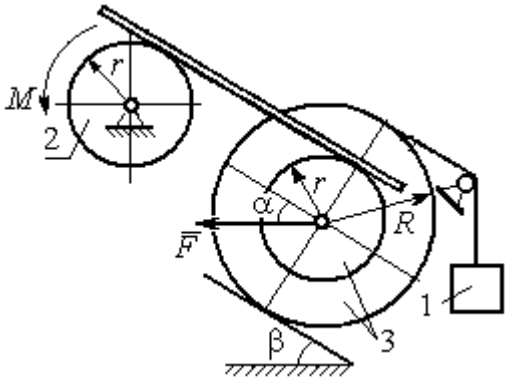
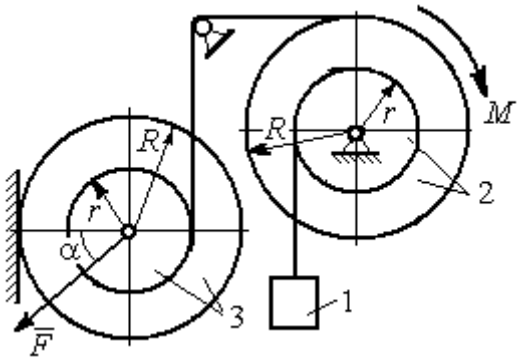
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.5. Задание Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики. Номера вариантов задания 5 – 10, 15 – 20, 25 – 30

Таблица 6.1

Исходные данные задания Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	α, град	β, град	R, м	r, м	i_z, м
1	10	20	8	20	$3(2+t^2)$	30	60	0,6	0,3	0,4
2	10	22	15	15	$4(t+3)$	30	30	0,8	0,4	0,6
3	5	18	10	6	$8(t^2+1)$	90	30	0,4	0,3	0,3
4	5	22	10	5	$14(t^2+t+1)$	30	–	0,6	0,5	0,6
5	5	20	16	9	$3(t^2+4)$	45	60	0,6	0,3	0,5
6	10	16	14	15	$4(5+t)$	60	30	1,0	0,6	0,8
7	6	20	20	8	$9(3t^2+2)$	45	–	0,8	0,6	0,8
8	16	25	15	12	$5(t^2+4)$	30	60	1,2	0,6	0,8
9	5	20	12	8	$4(3+5t)$	60	30	0,6	0,4	0,5
10	6	25	8	10	$5(3t+6)$	30	–	1,0	0,8	0,9
11	4	22	8	15	$2+ t^2$	45	45	0,8	0,4	0,6
12	15	18	15	10	$5(t+3)$	30	60	1,0	0,5	0,7
13	6	20	10	4	$5(t^2+2)$	30	60	0,6	0,5	0,4
14	10	25	15	8	$16(t+2)$	60	–	0,8	0,6	0,7
15	8	18	20	10	$6(t+2)$	30	90	1,2	0,6	1,0
16	8	18	12	12	$5(3+t^2)$	90	60	0,8	0,6	0,7
17	5	20	10	10	$2t^2+20$	60	–	0,9	0,6	0,8
18	20	15	20	15	$3(t+4)$	60	30	0,8	0,4	0,7
19	8	20	12	10	$4(3+t)$	45	45	1,2	0,4	0,8
20	12	20	10	6	$6(3t+4)$	45	–	1,0	0,6	0,9
21	15	25	12	12	$6+t^2$	60	60	0,6	0,3	0,5
22	20	22	18	15	$2(2t+9)$	45	45	0,8	0,4	0,6
23	8	24	12	8	$7(3t^2+2)$	30	45	0,8	0,5	0,6
24	12	20	18	10	$6(t+4)$	90	–	0,5	0,3	0,4
25	5	20	12	12	$9(2+t^2)$	60	30	1,4	0,7	1,2
26	10	12	10	8	$6(2+t)$	30	45	1,2	0,8	0,9
27	6	18	16	14	$8(2t^2+3)$	30	–	0,8	0,2	0,6
28	10	20	20	20	$3(t^2+3)$	45	30	0,6	0,3	0,5
29	10	18	8	12	$5(4+t+ t^2)$	30	60	1,2	0,8	0,9
30	8	18	10	15	$8(t^2+5)$	60	–	1,0	0,8	0,9

Пример выполнения задания Д6. Исследование движения механической системы с применением общего уравнения динамики

Механическая система состоит из груза 1, движущегося поступательно, ступенчатого диска 2 (каток), катящегося по неподвижной поверхности цилиндрической ступенькой, и однородного диска 3 (блок), вращающегося вокруг неподвиж-

ной оси, проходящей через центр масс блока (рис. 6.6). Качение катка 2 без проскальзывания, скольжение груза 1 – без трения. Движение системы происходит под действием сил тяжести, силы $\vec{F}$, приложенной к грузу 1 и пары сил с моментом *M*, приложенной к диску 3.

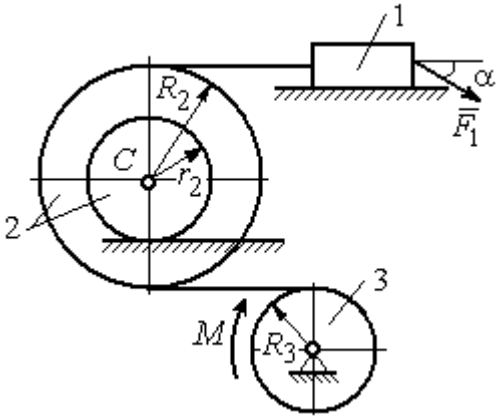


Рис. 6.6. Схема движения механической системы

Найти уравнение движения центра масс катка 2 если движение системы началось из состояния покоя. Определить реакцию шарнира диска 3 в момент t = 1 с, если: P_1 = 10 Н; P_2 = 20 Н; P_3 = 15 Н; $F = 5(t+1)$ Н; $M = 6(1+2t)$ Н·м; R_2 = 0,8 м; r_2 = 0,2 м; R_3 = 0,4 м; i_{2C} = 0,6 м.

Решение

В рассматриваемой механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом *M* (рис. 6.7). Связи идеальные, так как скольжение груза 1 происходит по гладкой поверхности без трения, качение диска 2 без проскальзывания, а ось вращения блока 3 неподвижна.

Предположим, направление движения в системе задаёт пара сил с моментом *M*, приложенная к блоку 3. Обозначим ω_3, ε_3 – угловая скорость и угловое ускорение блока 3, V_C, a_C – скорость и ускорение центра масс катка 2, V_1, a_1 – скорость и ускорение груза 1. Направления векторов скоростей и ускорений точек и угловых скоростей и ускорений тел в соответствии с выбранным направлением движения системы показаны на рис. 6.7.

Общее уравнение динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0.$$

Присоединим к телам системы силы инерции. Груз 1 движется поступательно. Главный вектор сил инерции груза 1 $\vec{R}_1^{\text{и}}$ приложен в центре масс груза и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_1$ груза 1. Модуль главного вектора сил инерции груза 1 $R_1^{\text{и}} = m_1 a_1$, где m_1 – масса груза 1; a_1 – величина ускорения груза 1.

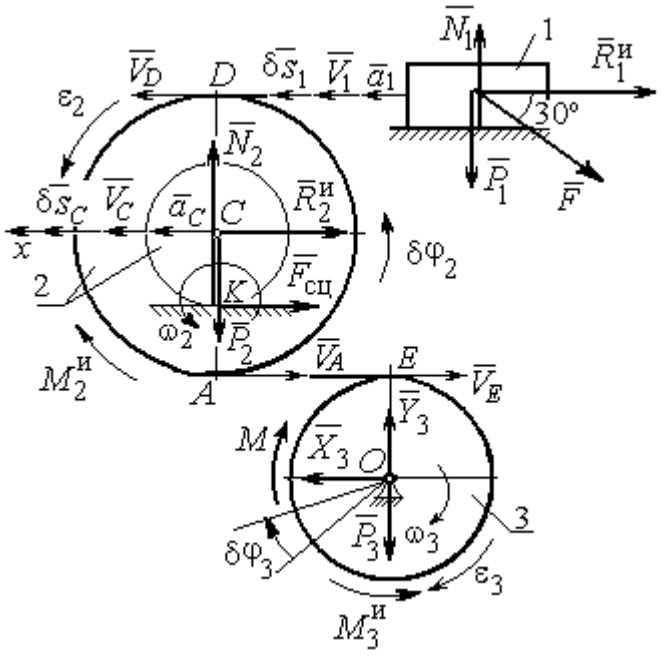


Рис. 6.7. Расчётная схема исследования движения механической системы

Система сил инерции катка 2, приводятся к силе, равной главному вектору сил инерции $\vec{R}_2^{\text{и}}$, приложенному в центре масс катка 2, и паре сил с моментом, равным главному моменту сил инерции $\vec{M}_2^{\text{и}}$ относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения. Главный вектор сил инерции направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$, и составляет $R_2^{\text{и}} = m_2 a_C$, где m_2 – масса катка 2; a_C – величина ускорения центра масс. Главный момент сил инерции: $M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2$, где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения; ε_2 – угловое ускорение катка 2. Направлен главный момент сил инерции $M_2^{\text{и}}$ в сторону, противоположную угловому ускорению ε_2.

Главный вектор сил инерции, приложенных к блоку 3 и приведённых к центру масс блока, равен нулю, так как блок вращается вокруг неподвижной оси, проходящей через центр масс, и ускорение центра масс блока равно нулю. В результате силы инерции блока 3 приводятся к паре сил, момент которой равен главному

моменту сил инерции $\vec{M}_3^{\text{и}}$ относительно оси вращения. Главный момент сил инерции блока 3 равен по величине $M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3$, где J_{3O} – момент инерции блока 3 относительно оси вращения; ε_3 – угловое ускорение блока 3, и направлен в сторону, противоположную угловому ускорению ε_3. Главные векторы и главные моменты сил инерции показаны на рис. 6.8.

Определим кинематические соотношения между скоростями точек системы и выразим их через скорость V_C центра масс катка 2. Каток 2 катится по неподвижной поверхности без скольжения. Мгновенный центр скоростей катка находится в точке *K* касания катка с поверхностью (см. рис. 6.7). Угловая скорость катка 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK} = \dfrac{V_C}{r_2}$. Скорость точки *A* катка 2: $V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2(R_2 - r_2) =$ $V_C \dfrac{R_2 - r_2}{r_2}$. Скорость точки *E* блока 3 равна скорости точки *A* катка 2, $V_E = V_A$. Тогда угловая скорость блока 3:

$$\omega_3 = \frac{V_E}{R_3} = \frac{V_A}{R_3} = V_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Скорость груза 1 равна скорости точки *D* катка 2:

$$V_1 = V_D = \omega_2 \cdot DK = \omega_2(R_2 + r_2) = V_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}.$$

Соотношения между ускорениями определяются путем дифференцирования установленных кинематических равенств:

$$a_1 = a_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{a_C}{r_2}, \quad \varepsilon_3 = a_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Для того чтобы найти соотношения между перемещениями, выразим кинематические равенства между скоростями в дифференциальном виде и, полагая, что действительное перемещение является возможным, т. е. $ds = \delta s$, $d\varphi = \delta\varphi$, получим соотношения между возможными перемещениями:

$$\delta s_1 = \delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \quad \delta\varphi_2 = \frac{\delta s_C}{r_2}, \quad \delta\varphi_3 = \delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Сообщим системе возможное перемещение, совпадающее с действительным. Элементарная работа реакций связи на любом возможном перемещении системы равна нулю, так как связи в системе идеальные.

Найдем элементарные работы активных сил и выразим их через перемещение центра масс катка 2. Прежде заметим, что элементарные работы сил тяжести груза 1 и катка 2 равны нулю, так как направления перемещений точек приложения этих сил перпендикулярны векторам сил:

$$\delta A(\vec{P}_1) = P_1 \delta s_1 \cos 90^\circ = 0,\ \delta A(\vec{P}_2) = P_2 \delta s_C \cos 90^\circ = 0.$$

Элементарная работа силы тяжести блока 3 равна нулю, так как точка приложения силы тяжести блока 3 не перемещается: $\delta A(\vec{P}_3) = 0$.

Элементарная работа пары сил с моментом M, приложенных к блоку 3:

$$\delta A(\vec{M}) = M\delta\varphi_3 = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Элементарная работа силы $\vec{F}$:

$$\delta A(\vec{F}) = F\delta s_1 \cos 150^\circ = -F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ.$$

Сумма элементарных работ всех активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = \delta A(\vec{M}) + \delta A(\vec{F}) = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} - F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ =$$

$$= \left[6(1+2t)\left(\frac{0{,}8 - 0{,}2}{0{,}4 \cdot 0{,}2}\right) - 5(t+1)\left(\frac{0{,}8 + 0{,}2}{0{,}2}\right)0{,}866\right]\delta s_C = (23{,}35 + 68{,}35t)\delta s_C.$$

Определим модули главных векторов и главных моментов сил инерции в зависимости от ускорения a_C центра масс катка 2:

$$R_1^{\text{и}} = m_1 a_1 = \frac{P_1}{g} a_1 = \frac{P_1(R_2 + r_2)}{g r_2} a_C, \quad R_2^{\text{и}} = m_2 a_C = \frac{P_2 a_C}{g},$$

$$M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2 = m_2 i_{2C}^2 \varepsilon_2 = \frac{P_2}{g} i_{2C}^2 \frac{a_C}{r_2},$$

$$M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3 = \frac{m_3 R_3^2}{2}\varepsilon_3 = \frac{P_3 R_3^2}{2g}\frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} a_C = \frac{P_3 R_3 (R_2 - r_2)}{2 g r_2} a_C,$$

где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$; i_{2C} – радиус инерции катка 2; J_{3O} – момент инерции блока 3 относительно оси вращения, проходящей через его центр масс, $J_{3O} = \dfrac{m_3 R_3^2}{2}$.

Найдем элементарные работы сил инерции на возможном перемещении системы и выразим их в зависимости от перемещения δs_C центра масс катка 2:

$$\delta A(\vec{R}_1^{\text{и}}) = R_1^{\text{и}} \delta s_1 \cos 180^\circ = -\frac{P_1 (R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2} \delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{R}_2^{\text{и}}) = R_2^{\text{и}} \delta s_C \cos 180^\circ = -\frac{P_2 a_C}{g} \delta s_C,\ \delta A(\vec{M}_2^{\text{и}}) = -M_2^{\text{и}} \delta \varphi_2 = -\frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2} \delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_3^{\text{и}}) = -M_3^{\text{и}} \delta \varphi_3 = -\frac{P_3 (R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2} \delta s_C.$$

Сумма элементарных работ сил инерции:

$$\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = -\frac{P_1 (R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2} \delta s_C - \frac{P_2 a_C}{g} \delta s_C - \frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2} \delta s_C - \frac{P_3 (R_2 - r_2)^2 a_C}{2 g r_2^2} \delta s_C =$$

$$= -\frac{a_C \delta s_C}{g} \left[\frac{10(0{,}8 + 0{,}2)^2}{0{,}2^2} + 20 + \frac{20 \cdot 0{,}6^2}{0{,}2^2} + \frac{15(0{,}8 - 0{,}2)^2}{2 \cdot 0{,}2^2} \right] = -52{,}75\, a_C \delta s_C,$$

где $g = 9{,}81$ м/с^2.

С учетом проделанных вычислений общее уравнение динамики принимает вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = (23{,}35 + 68{,}35t)\delta s_C - 52{,}75\, a_C \delta s_C = 0,$$

откуда ускорение центра масс катка 2:

$$a_C = 0{,}44 + 1{,}29t.$$

Выберем ось *x* по направлению движения центра масс катка 2 (см. рис. 6.7). Проектируя вектор $\vec{a}_C$ ускорения точки C на ось *x*, получим дифференциальное уравнение $a_C = \ddot{x}_C = 0{,}44 + 1{,}29t$. Интегрируя дважды это уравнение, найдём закон движения: $x_C = 0{,}44\frac{t^2}{2} + 1{,}29\frac{t^3}{6} + C_1 t + C_2$. Подставляя сюда начальные условия: $t = 0$, $V_C = 0$, $x_C = 0$, найдём константы интегрирования: $C_1 = C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения центра масс диска 2 представим в виде:

$$x_C = 0{,}22t^2 + 0{,}21t^3.$$

Рассмотрим вращательное движение блока 3, освободив его от связей. На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника, разложенная на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, пара сил с моментом *M* и реакция нити $\vec{H}_3$ (см. рис. 6.8). Реакция нити, равная силе натяжения нити, приложена к блоку 3, направлена вдоль нити, связывающей каток 2 и блок 3. Присоединим к блоку 3 силы инерции. Направления сил, моментов пар сил и главного момента сил инерции, действующих на блок 3, показаны на рис. 6.8.

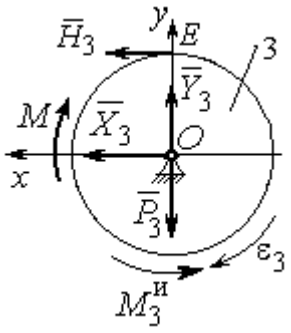


Рис. 6.8. Расчётная схема определения натяжения нити и реакции шарнира блока 3

По принципу Даламбера система сил, приложенных к блоку 3, включая силы инерции, находится в равновесии. Составим уравнение равновесия в виде равенства нулю суммарного момента всех сил (включая силы инерции) относительно оси вращения. Получим $M - H_3R_3 - M_3^{и} = 0$, где $M_3^{и} = J_{3O}\varepsilon_3 = = \frac{P_3R_3(R_2 - r_2)a_C}{2gr_2}$.

Из уравнения находим величину натяжения нити:

$$H_3 = \frac{M}{R_3} - \frac{P_3(R_2 - r_2)a_C}{2gr_2} = \frac{6(1+2t)}{R_3} - \frac{P_3(R_2 - r_2)}{2gr_2}(0{,}44 + 1{,}29t) = 13{,}99 + 27{,}04t.$$

В момент времени $t = 1$ с натяжение нити: $H_3 = 41{,}04$ Н.

Так как главный вектор сил инерции блока 3 равен нулю, то составленные по принципу Даламбера уравнения равновесия блока 3 в виде проекций сил на

вертикальную и горизонтальную оси содержат только внешние силы. Имеем: $X_3 + H_3 = 0$, $Y_3 - P_3 = 0$ (см. рис. 6.8). Отсюда находим составляющие реакции шарнира блока 3 в момент времени $t = 1$ с: $X_3 = -H_3 = -41{,}04$ Н, $Y_3 = P_3 = 15$ Н. Отрицательное значение горизонтальной составляющей реакции шарнира X_3 означает её противоположное направление.

Полная реакция шарнира $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = 43{,}69$ Н.

6.3. Уравнения Лагранжа II рода

Обобщенными координатами механической системы называется совокупность любых s независимых параметров $q_1, q_2, \ldots, q_s$, однозначно определяющих положение системы в любой момент времени.

Если системе сообщить возможное перемещение, при котором все обобщенные координаты изменяются на элементарные (бесконечно малые) величины $\delta q_1, \delta q_2, \ldots, \delta q_s$, называемые вариациями обобщенных координат, то все действующие активные силы совершат элементарную работу, которая может быть представлена в виде $\delta A = Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \ldots + Q_s \cdot \delta q_s$. Величина Q_k, равная коэффициенту при вариации δq_k обобщенной координаты, называется **обобщенной силой**, соответствующей данной обобщенной координате. Расчет обобщенных сил осуществляется путем последовательного придания системе возможных перемещений, при которых варьируется только одна из обобщенных координат, а вариации остальных координат равны нулю.

Для материальной системы с идеальными связями дифференциальные уравнения движения в обобщенных координатах – **уравнения Лагранжа II рода** – имеют вид:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k, \quad k = 1, 2, \ldots, s,$$

где T – кинетическая энергия системы; $q_1, q_2, \ldots, q_S$ – обобщенные координаты; $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \ldots, \dot{q}_S$ – обобщенные скорости; s – число степеней свободы системы.

6.4. Задание Д7. Исследование механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Механическая система состоит из трёх тел – бруса 1, блока 2, катка 3 и невесомой пружины жесткостью c. Брус 1, соединяющий каток 3 с блоком 2, расположен параллельно линии качения катка 3. Радиусы ступеней ступенчатого диска и радиус однородного диска указаны на схеме.

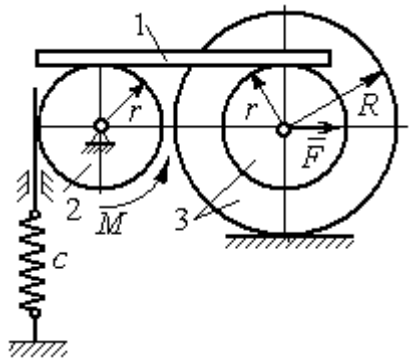
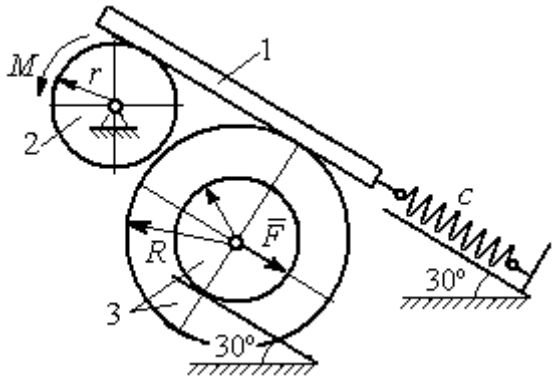
Качение катка 3 происходит без проскальзывания. Скольжение между брусом и дисками отсутствует. В задачах, где пружина соединяется с блоком 2, передача движения блоку 2 производится посредством невесомого стержня без скольжения.

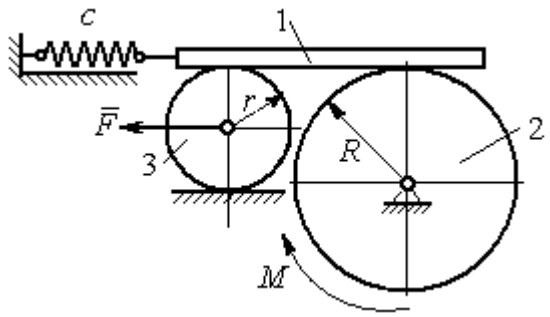
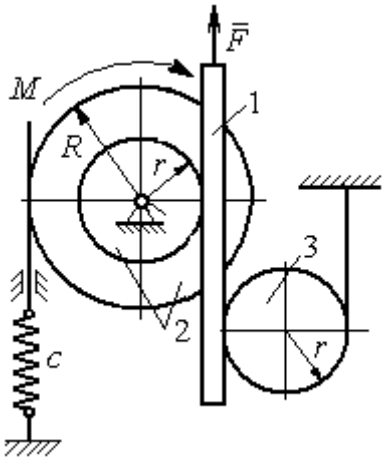
Радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, равен i_z.

Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M.

Определить закон движения бруса 1 и закон угловых колебаний блока 2, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость ω_{20}, направленную в сторону заданного момента пары сил.

Варианты заданий даны на рис. 6.9, 6.10. Варианты исходных данных в табл. 6.2. Отрицательные значения величин F или M в табл. 6.2 означают, что при заданных модулях силы или момента направление вектора силы $\vec{F}$ или момента M на схеме следует изменить на противоположные.

Варианты № 1, 11, 21	Варианты № 2, 12, 22
	

Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

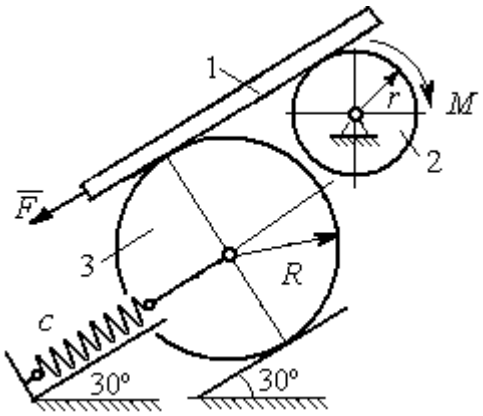
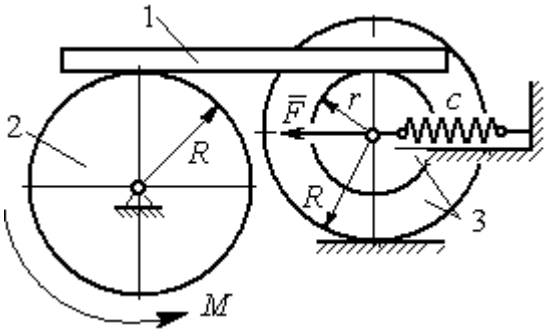
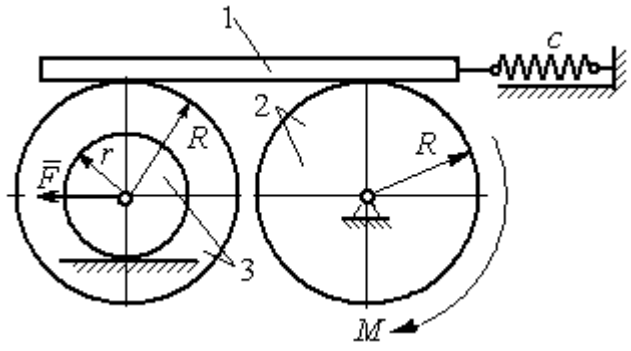
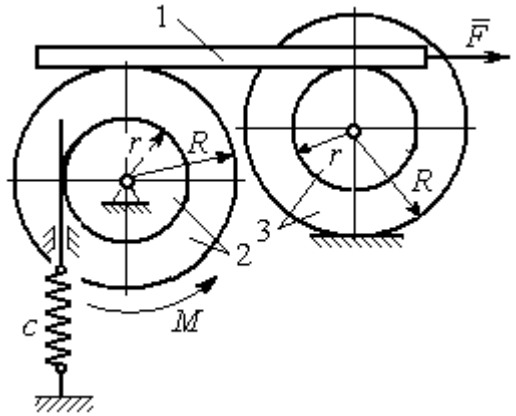
Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 6.9. Задание Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы. Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

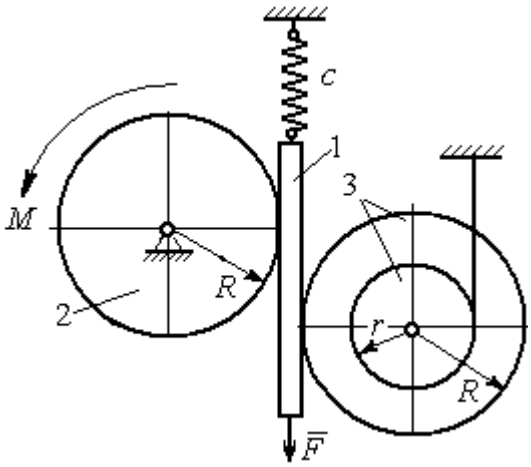
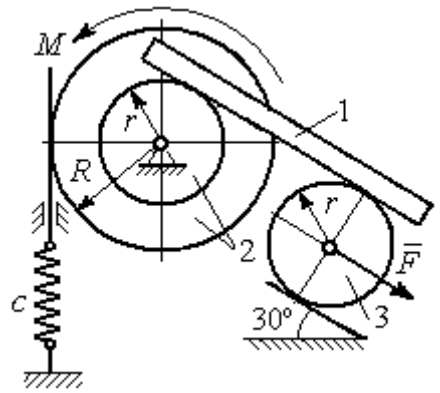
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.10. Задание Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы. Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 6.2

Исходные данные задания Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Номер вари-анта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	c, Н/м	ω_{20}, рад/с	R, м	r, м	i_z, м
1	8	12	18	15	3	50	0,3	0,6	0,3	0,4
2	10	8	15	12	5	55	0,4	0,8	0,5	0,6
3	5	18	10	8	4	60	0,2	0,5	0,3	–
4	5	20	12	10	6	70	0,5	0,6	0,5	0,6
5	5	8	16	8	8	65	0,2	0,6	0,3	–

Окончание табл. 6.2

Номер варианта задания	P_1, Н	P_2, Н	P_3, Н	F, Н	M, Н·м	c, Н/м	ω_{20}, рад/с	R, м	r, м	i_z, м
6	8	10	14	6	2	50	0,1	1,0	0,6	0,8
7	10	12	15	12	3	65	0,2	0,8	0,6	0,7
8	12	15	15	6	2	50	0,3	1,2	0,6	0,8
9	5	20	12	8	4	75	0,1	0,6	0,4	0,5
10	6	25	8	5	12	60	0,4	1,0	0,8	0,9
11	4	10	12	–10	–2	60	0,2	0,8	0,4	0,6
12	5	8	15	–8	3	50	0,5	1,0	0,5	0,7
13	6	15	8	–12	–4	65	0,4	0,6	0,5	–
14	10	25	10	6	10	55	0,1	0,8	0,6	0,7
15	8	6	20	–10	2	70	0,2	1,2	0,6	–
16	10	12	12	–5	6	60	0,3	0,8	0,6	0,7
17	12	16	12	–6	–2	55	0,4	0,9	0,6	0,8
18	10	20	20	10	4	60	0,1	0,8	0,4	0,7
19	8	20	12	–10	6	65	0,2	1,2	0,4	0,8
20	12	20	10	–3	6	50	0,24	1,0	0,6	0,9
21	5	12	15	12	–3	55	0,3	0,6	0,5	0,55
22	10	15	18	6	–2	65	0,1	0,8	0,4	0,6
23	8	20	12	–8	2	45	0,2	0,8	0,6	–
24	12	20	18	–4	–8	70	0,4	0,5	0,3	0,4
25	6	10	15	–6	–2	60	0,1	1,4	0,7	–
26	8	12	10	10	–3	65	0,2	1,2	0,8	0,9
27	6	18	16	5	–3	70	0,2	0,8	0,2	0,6
28	8	12	12	–6	2	65	0,3	0,6	0,3	0,5
29	10	18	20	–10	4	60	0,2	1,2	0,8	0,9
30	8	18	10	8	6	75	0,1	1,0	0,8	0,9

Пример выполнения задания Д7. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы с применением уравнений Лагранжа

Механическая система состоит из трёх тел – бруса 1, блока 2, катка 3 и невесомой пружины жесткостью c. Брус, соединяющий каток 3 с блоком 2, расположен параллельно линии качения катка 3 (рис. 6.11). Радиусы ступеней ступенчатого диска R и r, радиус однородного диска r. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M. Движение катка 3 по неподвижной поверхности происходит без проскальзывания. Скольжение между брусом и дисками отсутствует. Передача движения от пружины блоку 2 производится посредством невесомого вертикального стержня

без скольжения. Радиус инерции блока 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, i_z.

Исходные данные задачи: $P_1 = P$ Н, $P_2 = 2P$ Н, $P_3 = P$ Н, $F = 2P$ Н, $M = Pr$ Н·м, $R = 1{,}5r$ м, $i_z = r\sqrt{2}$ м, $c = P/r$ Н/м.

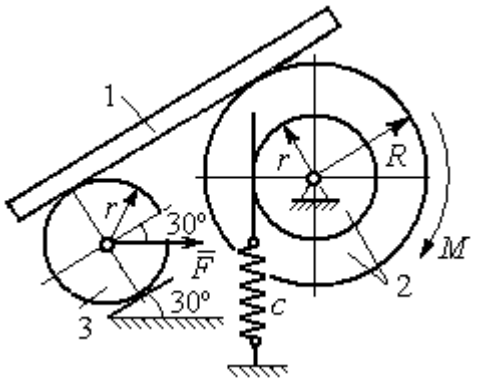


Рис. 6.11. Механическая система с одной степенью свободы

Определить законы движения блока 2 и бруса 1 при $P = 10$ Н, $r = 0{,}2$ м, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость $\omega_0 = 0{,}5$ рад/с, направленную в сторону заданного момента пары сил.

Решение

Рассматриваемая механическая система (рис. 6.11) имеет одну степень свободы, так как в системе не допускается независимое друг от друга движение тел. В качестве обобщённой координаты q выберем перемещение x верхнего края пружины, отсчитываемого от уровня, при котором пружина длиной l_0 находилась в нерастянутом состоянии (рис. 6.12). Обобщённая скорость $\dot{q} = \dot{x}$.

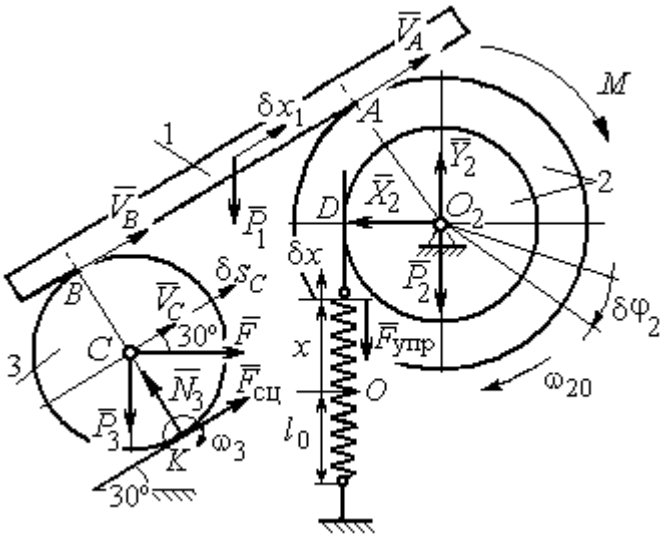


Рис. 6.12. Расчётная схема колебаний механической системы с одной степенью свободы

Уравнение Лагранжа II рода, описывающее движение системы с одной степенью свободы, имеет вид $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x$, где T – кинетическая энергия системы, Q_x – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате x.

Вычислим кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий бруса, блока и катка: $T = T_1 + T_2 + T_3$. Кинетическая энергия поступательного движения бруса 1: $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2$, где m_1, V_1 – масса и скорость бруса. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2$, где ω_2 – угловая скорость блока, J_{2z} – момент инерции блока 2 относительно оси z, $J_{2z} = m_2 i_z^2$.

Каток 3 совершает плоскопараллельное движение. Его кинетическая энергия $T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2$, где V_C – скорость центра масс катка 3; J_{zC} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{zC} = \frac{1}{2} m_3 r^2$; r – радиус катка; ω_3 – угловая скорость катка.

Выразим скорость V_1 бруса 1, угловые скорости ω_2, ω_3 блока 2 и катка 3, а также скорость V_C центра масс катка 3 через обобщённую скорость $\dot{x}$.

Заметим, что скорость точки *D* блока 2 равна скорости верхнего края пружины $V_D = \dot{x}$. Угловая скорость блока 2 $\omega_2 = \frac{V_D}{r} = \frac{\dot{x}}{r}$. Скорость бруса 1 равна скорости точки *A* блока 2 и вычисляется по формуле $V_1 = V_A = \omega_2 R = \frac{\dot{x} R}{r}$. Так как брус совершает поступательное движение, то $V_B = V_1$. Угловая скорость катка 3 $\omega_3 = \frac{V_B}{2r} = \frac{V_1}{2r} = \frac{\dot{x} R}{2r^2}$. Здесь при определении угловой скорости катка 3 учтено, что точка *K* касания катка 3 с неподвижной поверхностью является мгновенным центром скоростей катка. Скорость центра катка 3 $V_C = \frac{V_B}{2} = \frac{\dot{x} R}{2r}$.

Подставляя исходные данные задачи с учётом найденных кинематических соотношений, получим кинетическую энергию тел системы

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 = \frac{P}{2g} \left(\frac{\dot{x} R}{r} \right)^2 = 1{,}125 \frac{P}{g} \dot{x}^2, \quad T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2P}{g} \left(r\sqrt{2} \right)^2 \left(\frac{\dot{x}}{r} \right)^2 = 2 \frac{P}{g} \dot{x}^2,$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2 = \frac{1}{2} \frac{P}{g} \left(\frac{\dot{x} R}{2r} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{P r^2}{2g} \left(\frac{\dot{x} R}{2r^2} \right)^2 = 0{,}422 \frac{P}{g} \dot{x}^2 .$$

Тогда полная кинетическая энергия системы:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = 3{,}547 \frac{P}{g} \dot{x}^2 .$$

Произвольное положение системы определяется обобщённой координатой *x*, показывающей растяжение пружины. Дадим пружине, находящейся в произвольном положении, возможное (бесконечно малое) перемещение δx в положительном направлении оси *x* (см. рис. 6.12). При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2$: $\delta\varphi_2 = \frac{\delta x}{r}$, брус 1 переместится на расстояние δx_1: $\delta x_1 = \frac{\delta x R}{r}$, центр масс катка 3 сдвинется на расстояние δS_C: $\delta S_C = \frac{\delta x R}{2r}$. Все перемещения получены из установленных ранее кинематических соотношений и показаны на рис. 6.12.

При заданном возможном перемещении системы работу совершают силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_3$ бруса 1 и катка 3, пара сил с моментом *M*, сила $\vec{F}$ и сила упругости пружины (см. рис. 6.12). Элементарная работа вращающего момента *M*, приложенного к блоку 2, будет $\delta A(M) = M\delta\varphi_2 = M \frac{\delta x}{r}$. Работа силы тяжести бруса 1 определяется равенством $\delta A(P_1) = P_1 \delta x_1 \cos 120^\circ = -P_1 \delta x_1 \cos 60^\circ = -\frac{P_1 \delta x R}{2r}$. Работы силы тяжести катка 3 и силы *F*: $\delta A(P_3) = P_3 \delta s_C \cos 120^\circ = -P_3 \frac{\delta x R}{4r}$, $\delta A(F) = F \frac{\delta x R}{2r} \cos 30^\circ$. Модуль силы упругости пружины, растянутой из недеформированного положения на расстояние *x*: $F_{\text{упр}} = cx$. Сила $\vec{F}_{\text{упр}}$ упругости направлена в сторону, противоположную растяжению (см. рис. 6.12). Работа силы упругости при перемещении вдоль линии действия на расстояние δx вычисляется по формуле $\delta A(\vec{F}_{\text{упр}}) = F_{\text{упр}} \delta x \cos 180^\circ = -cx\delta x$.

Сумма работ сил на рассматриваемом возможном перемещении системы с учётом данных задачи составляет

$$\delta A = \delta A(M) + \delta A(P_1) + \delta A(P_3) + \delta A(F) + \delta A(F_{\text{упр}}) =$$

$$= M\frac{\delta x}{r} - \frac{P_1 \delta x R}{2r} - P_3\frac{\delta x R}{4r} + F\frac{\delta x R}{2r}\cos 30^\circ - cx\delta x = P(1{,}174 - 5x)\delta x,$$

откуда обобщённая сила $Q_x = P(1{,}174 - 5x)$.

Составим уравнения Лагранжа. Вычислим частные производные от кинетической энергии по обобщенной скорости $\dot{x}$ и координате x: $\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = 7{,}094\frac{P}{g}\dot{x}$, $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$. Определим полную производную по времени: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = 7{,}094\frac{P}{g}\ddot{x}$. Результаты расчетов подставим в уравнения Лагранжа II рода и получим дифференциальное уравнение колебаний верхнего края пружины:

$$7{,}094\frac{P}{g}\ddot{x} = P(1{,}174 - 5x), \text{ или при } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2,\ \ddot{x} + 6{,}91x = 1{,}62.$$

Решение дифференциального уравнения представляется в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного: $x = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$. Общее решение однородного уравнения имеет вид $x_{\text{одн}} = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний пружины, $k = \sqrt{6{,}91} = 2{,}63$ рад/с. Частное решение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{частн}} = b$. Подставив его в уравнение колебаний, получим $b = 0{,}23$. Таким образом, общее решение неоднородного уравнения имеет вид $x(t) = C_1 \sin 2{,}63t + C_2 \cos 2{,}63t + 0{,}23$.

Произвольные постоянные C_1, C_2 находятся из начальных условий. По условию задачи в начальный момент пружина была в нерастянутом состоянии. Тогда начальная координата пружины (её верхнего края) $x(0) = 0$. Скорость верхнего края пружины в начальный момент времени $\dot{x}(0)$ равна начальной скорости $V_D(0)$ точки D блока 2. Поскольку в начальный момент времени блоку 2 сообщили угловую скорость ω_{20}, то $\dot{x}(0) = V_D(0) = \omega_{20} r = 0{,}1$ м/с.

Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим $C_2 = -0{,}23$.

Вычисляем скорость движения пружины, взяв производную: $\dot{x}(t) = 2{,}63C_1\cos 2{,}63t - 2{,}63C_2\sin 2{,}63t$. Подставляя начальное значение скорости, получим C_1 = 0,038. Окончательно уравнение движения верхнего края пружин: $x(t) = 0{,}038\sin 2{,}63t - 0{,}23\cos 2{,}63t + 0{,}23$ м.

Уравнения колебательных движений бруса 1 и блока 2 найдём из ранее полученных кинематических соотношений:

$$x_1 = \frac{xR}{r} = 1{,}5\,x(t) = 0{,}057\sin 2{,}63t - 0{,}34\cos 2{,}63t + 0{,}34 \text{ м};$$

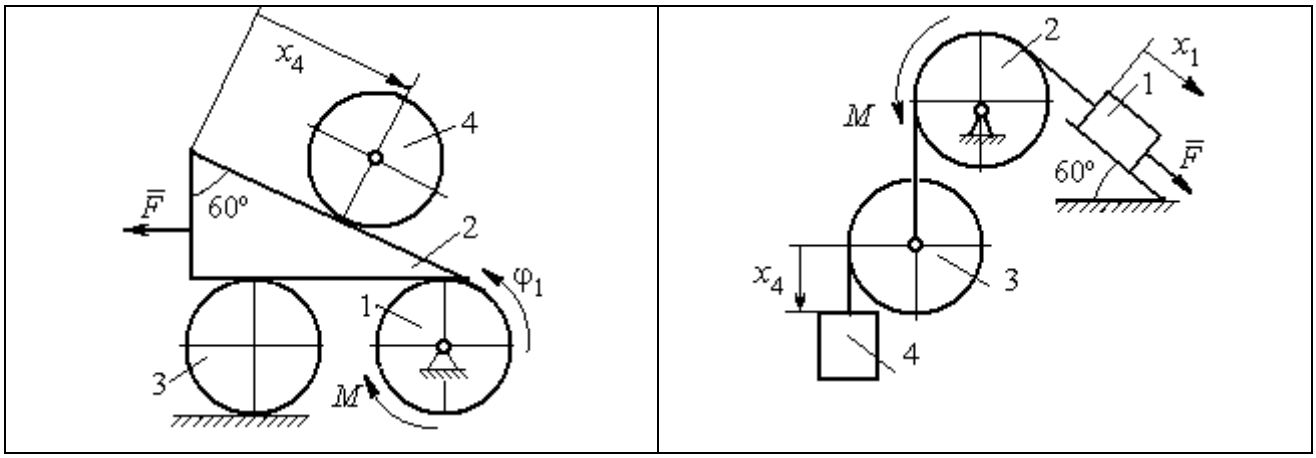
$$\varphi_2 = \frac{x}{r} = 5\,x(t) = 0{,}19\sin 2{,}63t - 1{,}15\cos 2{,}63t + 1{,}15 \text{ рад}.$$

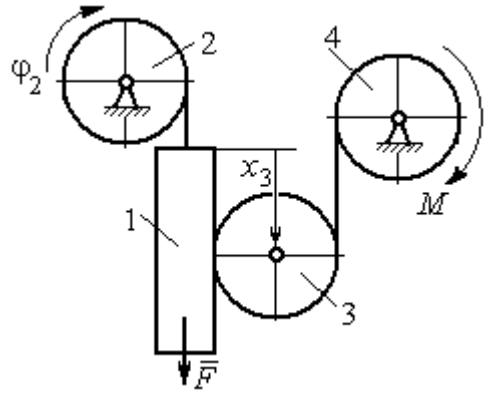
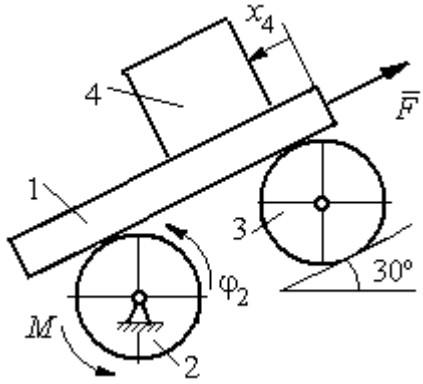
Амплитуда колебаний бруса $A = \sqrt{0{,}057^2 + 0{,}34^2} = 0{,}35$ м.

6.5. Задание Д8. Исследование механической системы с двумя степенями свободы

Механическая система, состоящая из четырёх тел, из состояния покоя движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, $\vec{P}_4$, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M. Качение тел во всех случаях происходит без проскальзывания, скольжение грузов по поверхностям – без трения. Радиусы дисков одинаковы и равны R. Найти уравнения движения системы в обобщённых координатах. Варианты заданий и рекомендуемые обобщённые координаты даны на рис. 6.13, 6.14, варианты исходных данных – в табл. 6.3.

Варианты № 1, 11, 21	**Варианты № 2, 12, 22**



Варианты № 3, 13, 23	Варианты № 4, 14, 24
	

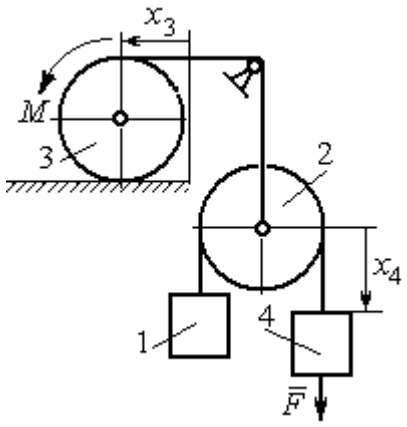
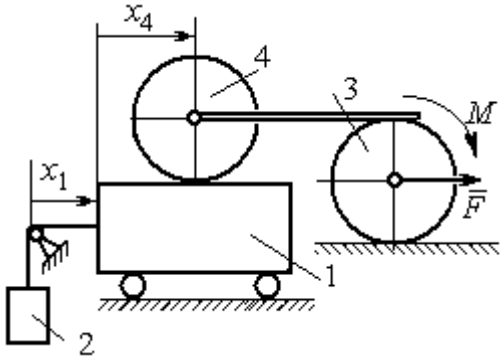
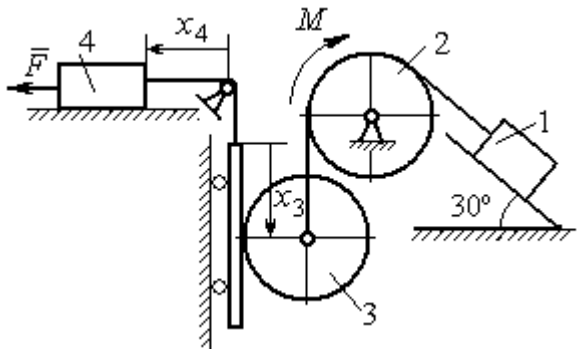
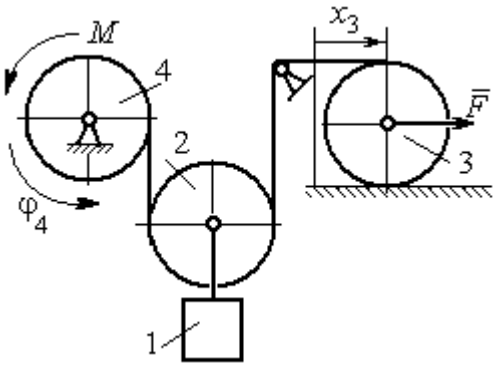
Варианты № 5, 15, 25	Варианты № 6, 16, 26
	

Рис. 6.13. Задание Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы. Номера вариантов задания 1 – 6, 11 – 16, 21 – 26

Окончание вариантов задания Д8

Варианты № 7, 17, 27	**Варианты № 8, 18, 28**
	

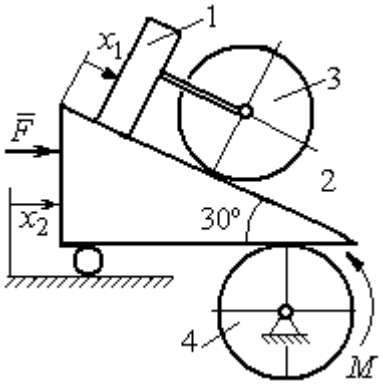
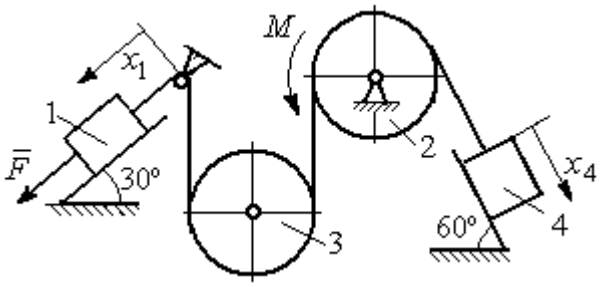
Варианты № 9, 19, 29	**Варианты № 10, 20, 30**
	

Рис. 6.14. Задание Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы. Номера вариантов задания 7 – 10, 17 – 20, 27 – 30

Таблица 6.3

Исходные данные задания Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы

Номер варианта задания	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
P_1, Н	P	$2P$	P	$1{,}5P$	P	$3P$	P	$1{,}2P$	$3P$	P	$2P$	P	P	$2P$	P
P_2, Н	$3P$	$3P$	$4P$	$3P$	$2P$	P	$2P$	$3P$	P	$2P$	$3P$	$2P$	$3P$	$4P$	$3P$
P_3, Н	$2P$	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	$2P$	$3P$	P	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	$2P$	P	$2P$
P_4, Н	$2P$	P	P	$2P$	$3P$	$3P$	P	P	$2P$	P	P	P	$2P$	$2P$	$2P$
R, м	$2r$	$1{,}5r$	$2{,}5r$	$1{,}2r$	$2r$	r	$1{,}5r$	r	$2r$	r	$1{,}5r$	$1{,}2r$	$2r$	$2r$	$2r$
F, Н	P	$2P$	P	$3P$	P	P	$2P$	$4P$	P	$2P$	P	$2P$	$1{,}5P$	$4P$	$2P$
M, Н·м	$2Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$3Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$2Pr$	$2Pr$	$3Pr$	$2Pr$	$3Pr$	$4Pr$	$3Pr$	$3Pr$	$2Pr$

Окончание табл. 6.3

Номер варианта задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
P_1, Н	$4P$	$1{,}5P$	P	$2P$	P	P	$1{,}5P$	$1{,}5P$	$2P$	P	P	$2P$	$1{,}2P$	$3P$	$1{,}2P$
P_2, Н	$2P$	$2P$	$2P$	$4P$	$3P$	$4P$	$3P$	$4P$	$3P$	$2P$	$2P$	$1{,}2P$	$2P$	$3P$	$2P$
P_3, Н	$2P$	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	$3P$	$2P$	$2P$	P	$2P$	$3P$	$2P$	P	P	$3P$
P_4, Н	$1{,}5P$	$2P$	$3P$	P	$2P$	$2P$	$2P$	P	$2P$	$3P$	P	P	$2P$	P	$2P$
R, м	$1{,}5r$	r	$1{,}5r$	$2r$	r	$1{,}2r$	$2r$	$1{,}5r$	$2r$	r	$1{,}5r$	$2r$	r	$1{,}2r$	$2r$
F, Н	$2P$	$2P$	P	$3P$	$4P$	$2P$	$3P$	$2P$	$3P$	P	$3P$	$1{,}5P$	$4P$	$2P$	$3P$
M, Н·м	$3Pr$	$2Pr$	$4Pr$	Pr	$4Pr$	$4Pr$	$2Pr$	Pr	$4Pr$	$2Pr$	$4Pr$	$2Pr$	$2Pr$	$3Pr$	$2Pr$

Пример выполнения задания Д8. Исследование движения механической системы с двумя степенями свободы

Платформа 3 лежит горизонтально на катке 5 и блоке 4 одинакового радиуса R (рис. 6.15). На платформу действует горизонтальная сила $\vec{F}$. К блоку 4, вращающемуся вокруг неподвижной оси, приложена пара сил с моментом M. Каток 5 катится по горизонтальной поверхности. К краю платформы одним концом прикреплена горизонтальная нить, а к другому концу, переброшенному через невесомый блок, прикреплён груз 6, движущийся вертикально. На платформе 3 установлен каток 2 радиуса R. К центру катка прикреплена нить, расположенная параллельно платформе и натянутая грузом 1, движущимся вертикально (см. рис. 6.15). Движение системы началось из состояния покоя. Качение тел без проскальзывания. Определить уравнения движения системы в обобщённых координатах, если $R = 2r$, веса тел $P_1 = P_6 = P$, $P_3 = 3P$, $P_4 = P_5 = P_2 = 2P$, $F = P$, $M = 3Pr$.

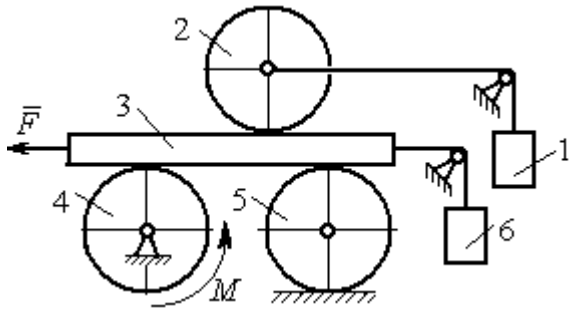


Рис. 6.15. Механическая система с двумя степенями свободы

Решение

Рассматриваемая механическая система, включающая катки 2, 5, платформу 3, блок 4 и грузы 1, 6, имеет две степени свободы, так как перемещение катка 2 относительно платформы 3 не зависит от перемещения самой платформы. За обобщенные координаты выберем перемещение x_2 центра масс катка 2 относительно

края платформы и перемещение x_3 платформы 3 относительно произвольной неподвижной вертикальной плоскости (рис. 6.16). Обобщенные скорости – скорость $\dot{x}_2$ центра масс катка 2 относительно края платформы и скорость платформы $\dot{x}_3$ относительно неподвижной вертикали. Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_2}=Q_{x_2}, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right)-\frac{\partial T}{\partial x_3}=Q_{x_3},$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_{x_2}, Q_{x_3} – обобщенные силы, соответствующие указанным обобщенным координатам.

Вычислим кинетическую энергию системы как сумму кинетических энергий тел.

Платформа 3 совершает поступательное движение. Кинетическая энергия платформы $T_3=\frac{P_3}{2g}V_3^2$, где V_3 – скорость платформы, причём, в соответствии с выбором обобщённых координат и скоростей, $V_3=\dot{x}_3$.

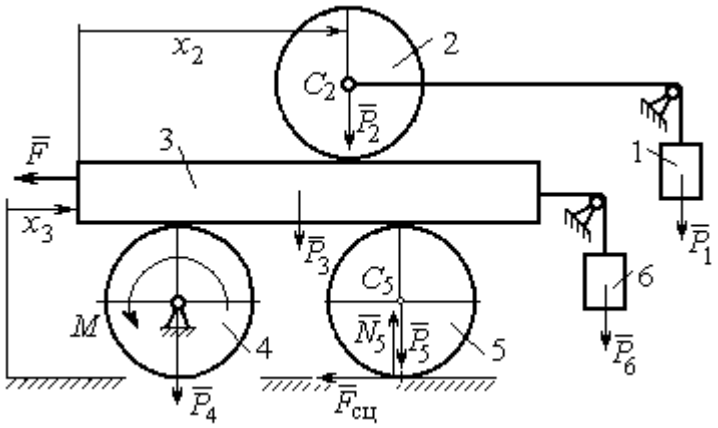


Рис. 6.16. Действующие силы и обобщённые координаты механической системы

Блок 4 вращается вокруг неподвижной оси. Энергия вращательного движения блока $T_4=\frac{1}{2}J_4\omega_4^2$, где J_4, ω_4 – осевой момент инерции блока 4 и его угловая скорость. Угловая скорость блока 4 $\omega_4=\frac{V_3}{R_4}=\frac{\dot{x}_3}{2r}$.

Каток 5 совершает плоскопараллельное движение, его кинетическая энергия вычисляется по формуле: $T_5=\frac{1}{2}\frac{P_5}{g}V_{C_5}^2+\frac{1}{2}J_5\omega_5^2$, где J_5 – момент инерции катка относительно оси вращения, проходящей через его центр масс; ω_5, V_{C_5} – угловая скорость и скорость центра масс катка 5. Для определения скорости центра масс

катка 5 заметим, что точка касания катка с платформой имеет скорость, равную скорости платформы, а точка *K* касания катка с неподвижной горизонтальной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Следовательно, скорость центра катка равна половине скорости платформы: $V_{C_5} = \frac{1}{2}V_3 = \frac{1}{2}\dot{x}_3$. Угловая скорость катка 5 $\omega_5 = \frac{V_3}{2R_5} = \frac{\dot{x}_3}{4r}$ (рис. 6.17, *a*).

При расчёте кинетической энергии катка 2 необходимо учитывать, что каток совершает сложное движение. Качение катка по поверхности платформы является относительным движением, перемещение его вместе с платформой – переносным. Абсолютная скорость V_{C_2} центра масс катка 2 представляется в виде векторной суммы $\vec{V}_{C_2} = \vec{V}_{C_2r} + \vec{V}_{C_2e}$ (рис. 6.17, *b*), где $\vec{V}_{C_2e}$ – вектор переносной скорости катка, равный по модулю скорости платформы, $V_{C_2e} = V_3 = \dot{x}_3$; $\vec{V}_{C_2r}$ – вектор относительной скорости центра масс катка, равный по величине скорости центра масс катка 2 относительно края платформы, $V_{C_2r} = \dot{x}_2$. Модуль абсолютной скорости центра масс катка 2 равен сумме $V_{C_2} = V_{C_2r} + V_{C_2e} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$ (рис. 6.17, *b*).

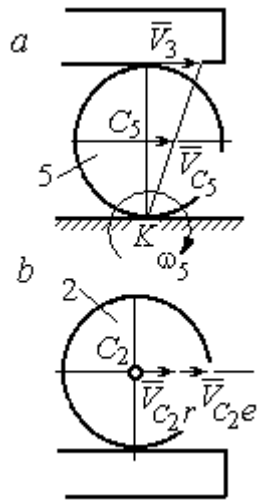


Рис. 6.17. Скорости центров катков 2 и 5

Угловая скорость переносного движения катка 2 равна нулю, поскольку переносное движение катка – это поступательное движение платформы. В результате угловая скорость катка 2 равна его угловой скорости в относительном движении: $\omega_2 = \frac{V_{C_2r}}{R_2} = \frac{\dot{x}_2}{2r}$. Кинетическая энергия катка 2 рассчитывается по формуле: $T_2 = \frac{1}{2}\frac{P_2}{g}V_{C_2}^2 + \frac{1}{2}J_2\omega_2^2$, где J_2 – осевой момент инерции катка 2; ω_2 – угловая скорость катка; V_{C_2} – абсолютная скорость центра масс катка 2.

Движение грузов 1 и 6 поступательное, их кинетические энергии вычисляются по формулам: $T_1 = \frac{P_1}{2g} V_1^2$, $T_6 = \frac{P_6}{2g} V_6^2$. При этом скорость груза 1 равна абсолютной скорости центра катка 2: $V_1 = V_{C_2} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, а скорость груза 6 равна скорости платформы: $V_6 = V_3 = \dot{x}_3$.

Выразим кинетическую энергию системы через обобщённые скорости. Кинетическая энергия:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 =$$

$$= \frac{P_1}{2g} V_1^2 + \frac{1}{2}\frac{P_2}{g} V_{C_2}^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2 +$$

$$\frac{P_3}{2g} V_3^2 + \frac{1}{2} J_4 \omega_4^2 +$$

$$\frac{1}{2}\frac{P_5}{g} V_{C_5}^2 + \frac{1}{2} J_5 \omega_5^2 + \frac{P_6}{2g} V_6^2,$$

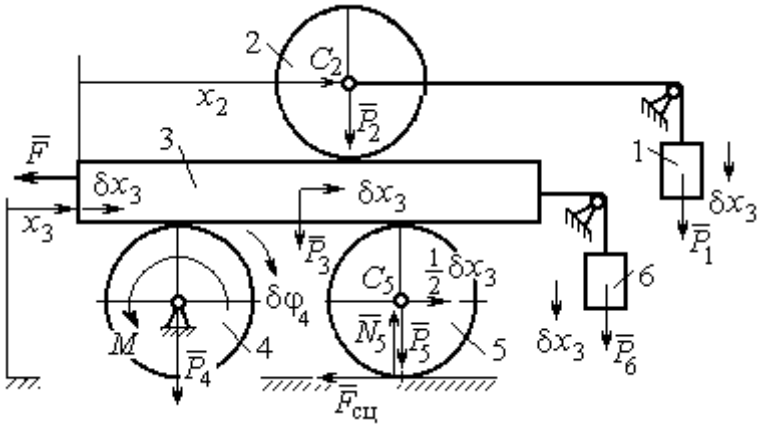


Рис. 6.18. Возможное перемещение системы при вариации обобщённых координат $\delta x_3 > 0$, $\delta x_2 = 0$

где значения скоростей:

$V_1 = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, $V_{C_2} = \dot{x}_2 + \dot{x}_3$, $\omega_2 = \frac{\dot{x}_2}{2r}$, $V_3 = \dot{x}_3$, $\omega_4 = \frac{\dot{x}_3}{2r}$, $V_{C_5} = \frac{1}{2}\dot{x}_3$, $\omega_5 = \frac{\dot{x}_3}{4r}$, $V_6 = \dot{x}_3$

. Значения осевых моментов инерции катков: $J_2 = \frac{P_2 R_2^2}{2g} = \frac{4Pr^2}{g}$, $J_4 = \frac{P_4 R_4^2}{2g} = \frac{4Pr^2}{g}$, $J_5 = \frac{P_5 R_5^2}{2g} = \frac{4Pr^2}{g}$. Подставляя значения скоростей, моментов инерции и данные задачи, получим выражение кинетической энергии системы в виде

$$T = \frac{P}{2g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{2P}{g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_2}{2r}\right)^2 + \frac{3P}{2g}\dot{x}_3^2 +$$

$$+\frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{2r}\right)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{2P}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{4Pr^2}{g}\left(\frac{\dot{x}_3}{4r}\right)^2 + \frac{P}{2g}\dot{x}_3^2 =$$

$$= \frac{1}{2}\frac{P}{g}\dot{x}_2^2 + \frac{3P}{2g}(\dot{x}_2 + \dot{x}_3)^2 + \frac{23P}{8g}\dot{x}_3^2 = \frac{2P}{g}\dot{x}_2^2 + \frac{3P}{g}\dot{x}_2\dot{x}_3 + \frac{35P}{8g}\dot{x}_3^2.$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_3, оставляя координату x_2 без изменения: $\delta x_3 > 0, \delta x_2 = 0$ (рис. 6.18). При таком перемещении каток 2

стоит на платформе и движется поступательно вместе с ней. В этом случае работа сил тяжести $\vec{P}_2$, $\vec{P}_5$, $\vec{P}_3$ катков 2, 5 и платформы 3 равна нулю, так как перемещения точек приложения этих сил перпендикулярны векторам сил (см. рис. 6.18). Работа силы тяжести $\vec{P}_4$ равна нулю, так как точка приложения силы лежит на неподвижной оси вращения блока 4.

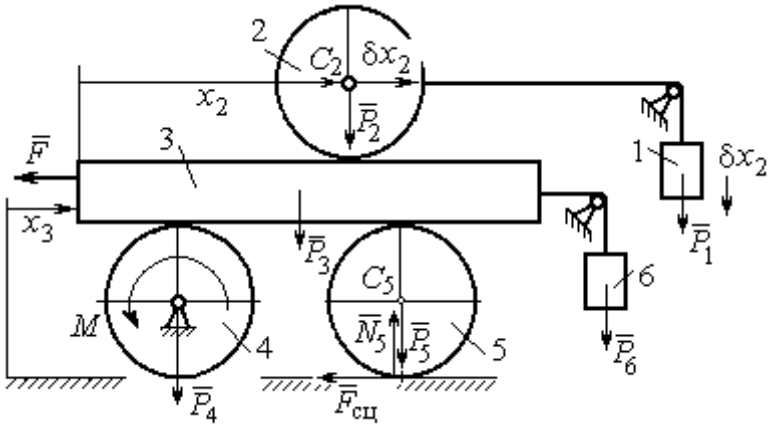


Рис. 6.19. Возможное перемещение системы при вариации обобщённых координат $\delta x_2>0$, $\delta x_3=0$

Работу будут производить сила $\vec{F}$, пара сил с моментом M и силы тяжести грузов $\vec{P}_1$ и $\vec{P}_6$. Суммарная работа сил на перемещении δx_3: $\delta A = -F\delta x_3 - M\delta\varphi_4 + P_1\delta x_3 + P_6\delta x_3$.

Представим полученное ранее соотношение $\omega_4 = \dfrac{\dot{x}_3}{2r}$ в дифференциальном виде: $d\varphi_4 = \dfrac{dx_3}{2r}$. Поскольку дифференциалы координат также являются возможными перемещениями, получим нужное соотношение $\delta\varphi_4 = \dfrac{\delta x_3}{2r}$. Теперь элементарную работу сил на возможном перемещении δx_3 с учётом значений сил можно представить в виде:

$$\delta A = -P\delta x_3 - 3Pr\frac{\delta x_3}{2r} + P\delta x_3 + P\delta x_3 = -\frac{1}{2}P\delta x_3,$$

отсюда обобщённая сила, соответствующая координате x_3: $Q_{x_3} = -\dfrac{1}{2}P$.

Дадим системе другое независимое перемещение – по координате x_2, оставляя координату x_3 без изменения: $\delta x_2 > 0$, $\delta x_3 = 0$ (рис. 6.19).

При этом возможном перемещении вся система стоит, кроме катка 2, который катится по поверхности неподвижной платформы, и груза 1, который опускается вертикально вниз. Работу совершает только сила тяжести груза 1. Выражая

работу в виде $\delta A = P_1 \delta x_2 = P\delta x_2$, найдём обобщённую силу, соответствующую координате x_2: $Q_{x_2} = P$.

Составим уравнения Лагранжа. С этой целью вычислим частные производные от кинетической энергии по обобщенным скоростям $\dot{x}_3$ и $\dot{x}_2$:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3} = \frac{3P}{g}\dot{x}_2 + \frac{35P}{4g}\dot{x}_3, \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} = \frac{4P}{g}\dot{x}_2 + \frac{3P}{g}\dot{x}_3$$

и по обобщённым координатам: $\frac{\partial T}{\partial x_3} = 0$, $\frac{\partial T}{\partial x_4} = 0$.

Определим полные производные по времени от частных производных кинетической энергии по скоростям:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) = \frac{3P}{g}\ddot{x}_2 + \frac{35P}{4g}\ddot{x}_3, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2}\right) = \frac{4P}{g}\ddot{x}_2 + \frac{3P}{g}\ddot{x}_3.$$

Подставляя результаты расчётов в уравнения Лагранжа с учётом вычисленных значений обобщённых сил, получим систему дифференциальных уравнений, описывающих движение системы в обобщённых координатах:

$$12\ddot{x}_2 + 35\ddot{x}_3 = -2g, \quad 4\ddot{x}_2 + 3\ddot{x}_3 = g.$$

Алгебраическим решением системы служат значения ускорений:

$$\ddot{x}_3 = -\frac{5}{26}g = -0{,}19g \quad \text{и} \quad \ddot{x}_2 = \frac{41}{104}g = 0{,}39g.$$

Полученные выражения представляют собой дифференциальные уравнения, проинтегрировав которые дважды с нулевыми начальными условиями (движение началось из состояния покоя), найдём уравнения абсолютного движения платформы и относительного движения центра масс катка 2:

$$x_3 = -0{,}095gt^2, \quad x_2 = 0{,}195gt^2.$$

Отрицательное значение координаты x_3 означает, что движение платформы происходит в отрицательном направлении оси x_3 (см. рис. 6.16).

Абсолютное движение центра катка 2 представляется суммой относительного и переносного движений: $x_{C_2} = x_2 + x_3 = 0{,}1gt^2$.

Уравнение вращательного движения катка 2 находится на основании выражения $\varphi_2 = \frac{1}{R_2} x_2 = \frac{1}{2r} x_2 = 0{,}097 \frac{gt^2}{r}$. Вращение блока 4 описывается уравнением $\varphi_4 = \frac{1}{R_4} x_3 = \frac{1}{2r} x_3 = -0{,}047 \frac{gt^2}{r}$.

Движение катка 5 описывается двумя уравнениями: уравнением движения центра масс катка $x_{C_5} = \frac{1}{2} x_3 = -0{,}047 gt^2$ и уравнением вращательного движения катка $\varphi_5 = \frac{x_3}{2R_5} = -0{,}024 \frac{gt^2}{r}$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бать М. И., *Джанелидзе Г. Ю.*, *Кельзон А. С.* Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 1–2.– СПб.: Лань, 2010.

Бутенин Н. В., *Лунц Я. Л.*, *Меркин Д. Р.* Курс теоретической механики: в 2-х томах.– М.: Наука, 2009.

Вебер Г. Э., *Ляпцев С. А*. Лекции по теоретической механике. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебн. для втузов. – М.: Высшая школа, 2010.

Учебное издание

Евгений Борисович Волков
Юрий Михайлович Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

сборник заданий для расчетно-графических работ

Учебно-методическое пособие
для самостоятельной работы студентов, выполнению практических и контрольных работ

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета

«___» _____ 2018 г.
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

Брагин В. Г., Волков Е. Б., Казаков Ю. М.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебное пособие

Издание УГГУ Екатеринбург,
2018

УДК 531
Б 87

Рецензент: *Н. М. Суслов*, д-р техн. наук, заведующий кафедрой ГМК
Уральского государственного горного университета.

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры технической механики от «07» июня 2018 г. (протокол № 7) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Печатается по решению Учебно-методического совета Уральского государственного горного университета.

Брагин В. Г., Волков Е. Б., Казаков Ю. М.

Б 87 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА: Учебное пособие / Ю. М. Казаков, В. Г. Брагин, Е. Б. Волков. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 250 с.
ISBN 978-5-8019-0460-3

Учебное пособие содержит краткие методические указания, примеры решений задач и упражнения для самостоятельной работы по основным темам курса теоретической механики: статика, кинематика точки и простейшие движения твёрдых тел, сложное движение точки, динамика точки и механической системы. Учебное пособие для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения.

ISBN 978-5-8019-0460-3

©Брагин В. Г., Волков Е. Б.,
Казаков Ю. М., 2018
©Уральский государственный горный университет, 2018

1. СТАТИКА

1.1. Основные понятия статики

Статика представляет раздел теоретической механики, в котором освещаются условия равновесия тел под действием систем сил.

Материальной точкой называют простейшую модель материального тела, размерами которого можно пренебречь и которое можно принять за геометрическую точку, имеющую массу, равную массе тела. Совокупность материальных точек называется **системой материальных точек**. Если система материальных точек такова, что движение каждой точки зависит от положения и движения остальных точек системы, то система называется **механической системой материальных точек**. Любое материальное тело представляет собой механическую систему материальных точек. Если точки системы связаны между собой так, что расстояния между любыми двумя точками не изменяются, то система называется **неизменяемой системой**, а тело – **абсолютно твердым телом**.

Силой в механике называют меру механического действия одного материального объекта (например, твердого тела) на другой. Единицей измерения силы в системе СИ является ньютон (Н). Совокупность сил, действующих на механическую систему (в частности, на твёрдое тело), называют **системой сил.**

Если система сил, приложенная к твердому телу, оставляет его в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, то такая система сил называется **уравновешенной,** или **системой сил, эквивалентной нулю**.

Если одну систему сил, действующих на твердое тело или материальную точку, можно заменить другой системой, не изменяя при этом состояния покоя или движения, в котором находится тело или материальная точка, то такие две системы сил называются **эквивалентными**. Если система сил эквивалентна одной силе, то эта сила называется **равнодействующей** данной системы сил.

Основные виды связей и их реакции

Всякое твердое тело, которое может занимать произвольное положение в пространстве, называется свободным. Если на тело наложены внешние связи, стесняющие (ограничивающие) свободу его перемещений, то тело является несвободным. Сила, с которой данная связь действует на тело, препятствуя его перемещениям, называется **реакцией связи**. Всякое несвободное твердое тело можно рассматривать как свободное, если освободить тело от связей и заменить действие связей их реакциями. **Реакция связи направлена в сторону, противоположную тому направлению, вдоль которого связь препятствует перемещению тела.**

Опора тела на гладкую плоскость (поверхность) без трения. Реакция $\vec{R}$ абсолютно гладкой поверхности приложена в точке касания и направлена перпендикулярно к общей касательной соприкасающихся поверхностей (рис. 1.1, *a*). Такая реакция называется **нормальной реакцией**.

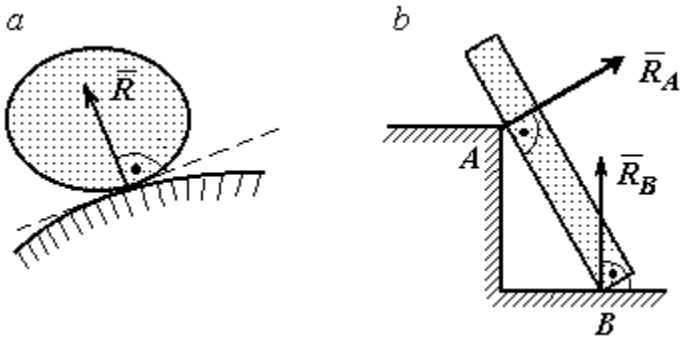


Рис. 1.1. Реакция опоры:

Брус с гладкой поверхностью (рис. 1.1, *b*), опирающийся в точке *B* на гладкий пол и в точке *A* на ребро (точечную опору), имеет реакциями опор $\vec{R}_B$ – реакцию пола и $\vec{R}_A$ – реакцию ребра (точечной опоры). Реакции приложены к брусу и направлены по нормалям к поверхности пола и поверхности бруса.

Цилиндрический шарнир и подвижная опора (каток). Цилиндрический шарнир (на рис. 1.2, *a* обозначен буквой *A*) представляет собой устройство, которое допускает поворот тела в плоскости, перпендикулярной оси шарнира (например, цилиндрическая втулка, надетая на неподвижный цилиндр).

Реакция цилиндрического шарнира $\vec{R}_A$ лежит в плоскости, перпендикулярной оси шарнира. При решении задач неизвестную по величине и направлению реакцию цилиндрического шарнира представляют в виде составляющих, $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, направленных вдоль координатных осей (см. рис. 1.2, *a*). Величина реакции $\vec{R}_A$ определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$, где $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$ – составляющие реакции.

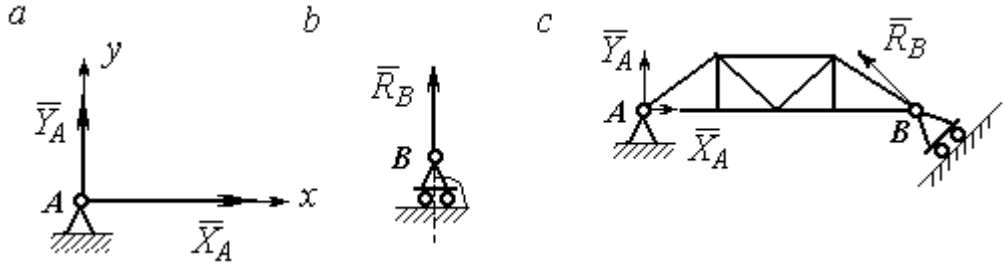


Рис. 1.2. Реакции шарнирных опор:
a – цилиндрический шарнир; *b* – каток; *c* – мостовая конструкция с цилиндрической шарнирной опорой и опорой на каток

Реакция $\vec{R}_B$ опоры на каток (подвижной опоры) (рис. 1.2, *b*) перпендикулярна опорной поверхности.

На рис. 1.2, *c* показаны реакции связей мостовой конструкции с цилиндрической шарнирной опорой и подвижной опорой (катком). Реакция цилиндрического шарнира в точке *A* изображена в виде разложения на взаимно перпендикулярные составляющие $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, реакция $\vec{R}_B$ катка в точке *B* перпендикулярна наклонной плоскости, на которой стоит каток.

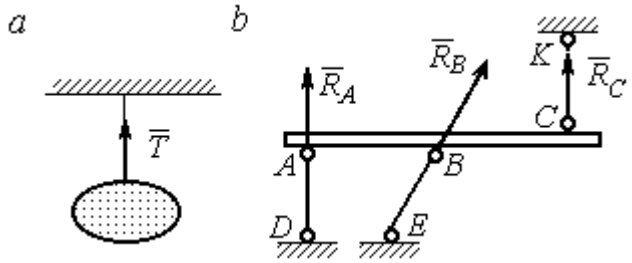


Рис. 1.3. Реакция гибкой нити и невесомого стержня

Гибкая связь и жесткий невесомый стержень. Связь в виде гибкой нерастяжимой нити (каната, троса) препятствует удалению тела от точки подвеса. (рис. 1.3, *a*). Реакция связи $\vec{T}$,

равная натяжению нити, приложена к телу и направлена вдоль нити в сторону противоположную направлению, вдоль которого нить препятствует перемещению тела

Если опорой тела служит невесомый стержень с шарнирами на концах, то реакция прямолинейного стержня приложена к телу и направлена вдоль стержня. Направление реакции стержня противоположно направлению, по которому стержень препятствует перемещению тела.

Реакции невесомых стержней, удерживающих балку, изображённую на рис. 1.3, *b*, направлены исходя из предположения, что балка может перемещаться вниз. При этом стержни *AD* и *BE* сжаты, а стержень *CK* растянут.

Сферический шарнир. Связь в виде сферического шарнира не позволяет перемещать тело в пространстве, но допускает поворот в пространстве вокруг неподвижной точки. Реакция сферического шарнира может иметь любое направление в пространстве. При решении задач реакцию изображают ее составляющими. На рис. 1.4 реакция $\vec{R}_A$ сферического шарнира *A* разложена на составляющие $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A$ по направлениям координатных осей. Величина реакции сферического шарнира определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}$.

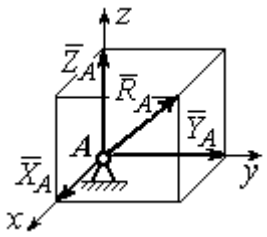


Рис. 1.4. Реакция сферического шарнира

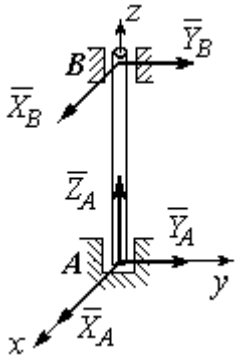


Рис. 1.5. Реакции подшипника и подпятника

Подшипник и подпятник. Подшипник представляет собой цилиндрический шарнир (рис. 1.5, подшипник *B*). Его реакция может иметь любое направление в плоскости, перпендикулярной оси шарнира. При решении задач реакция подшипника раскладывается на две составляющие. Например, на рис. 1.5 реакция $\vec{R}_B$ подшипника *B* разложена на составляющие $\vec{X}_B, \vec{Y}_B$, параллельные

координатным осям. Величина реакции подшипника определяется по формуле: $R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2}$.

Подпятник является цилиндрическим шарниром с упором. В задачах реакция подпятника обычно изображается векторами $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A$, представляющими разложение силы реакции подпятника по заданным направлениям координатных осей (см. рис. 1.5, подпятник *A*). Величина реакции подпятника определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2}$.

Проекция силы на ось и на плоскость

Проекция силы на ось есть алгебраическая величина, равная произведению модуля силы на косинус угла между силой и положительным направлением оси. Если этот угол острый, проекция положительна, если тупой – отрицательна. Если сила перпендикулярна оси, её проекция на ось равна нулю.

Проекции сил $\vec{F}$, $\vec{Q}$, $\vec{P}$, изображённых на рис. 1.6, *a*, на ось *x*: $F_x = F\cos\alpha$, $Q_x = Q\cos\alpha_1 = -Q\cos\varphi$, $P_x = P\cos 90^\circ = 0$.

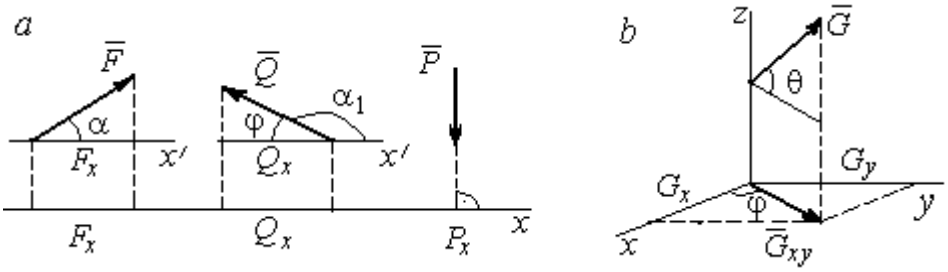


Рис. 1.6. Проекция силы на ось и на плоскость:
a – проекция силы на ось; *b* – проекция силы на плоскость

Проекцией силы на плоскость называется вектор, заключённый между проекциями начала и конца силы $\vec{G}$ на эту плоскость.

На рис. 1.6, *b* вектор $\vec{G}_{xy}$ является проекцией силы $\vec{G}$ на плоскость *xy*. По величине $G_{xy} = G\cos\theta$, где θ – угол между направлением силы $\vec{G}$ и её проекции

$\vec{G}_{xy}$. Проекции силы $\vec{G}$ на оси xyz: $G_x = G_{xy}\cos\varphi = G\cos\theta\cos\varphi$, $G_y = G_{xy}\sin\varphi = G\cos\theta\sin\varphi$, $G_z = G\sin\theta$.

1.2. Система сходящихся сил. Условия равновесия

Для равновесия **пространственной системы сходящихся сил** необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из трёх осей прямоугольной системы координат были равны нулю:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum F_{kz} = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси.

Для равновесия **плоской системы сходящихся сил** необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на каждую из двух осей прямоугольной системы координат, расположенной в плоскости действия сил, были равны нулю: $\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0$, где F_{kx}, F_{ky} – проекции всех сил на координатные оси.

Примеры решения задач на равновесие сходящейся системы сил

Задача 1. Каток весом 20 кН удерживается на гладкой наклонной плоскости тросом, который одним концом закреплён на поверхности шара, а другим – на вертикальной стене (рис. 1.7). Угол наклона троса к вертикальной стене $\beta = 120°$. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 45°$. Определить силу давления катка на плоскость и натяжение троса.

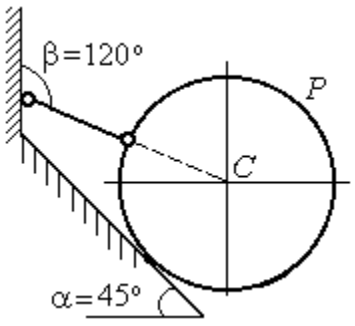


Рис. 1.7. Равновесие шара

Решение

При равновесии на каток действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция троса $\vec{N}$ и реакция опоры $\vec{R}$. Линии действия всех сил находятся в одной плоскости и пересекаются в центре шара. Направления реакций показаны на рис. 1.8.

Условия равновесия плоской сходящейся системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0.$$

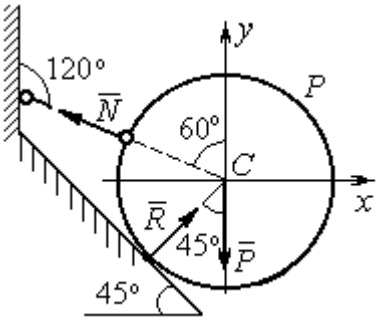


Рис. 1.8. Силы, действующие на каток, при его равновесии

Проведя оси координат, как показано на рис. 1.8, выразим условия равновесия в виде системы уравнений:

$$\sum F_{kx} = -N\cos 30^\circ + R\cos 45^\circ = 0;\ \sum F_{ky} =$$

$$N\cos 60^\circ + R\cos 45^\circ - P = 0.$$

Подставляя в уравнения исходные данные задачи, найдем: N = 14,64 кН, R = 17,93 кН.

Натяжение троса равно модулю его реакции. Сила давления катка на плоскость равна реакции опоры гладкой плоскости, но направлена в противоположную сторону.

Задача 2. Кронштейн состоит из невесомых стержней *AC* и *BC*, скрепленных друг с другом и с вертикальной стеной шарнирами, как показано на рис. 1.9. Стержень *BC* горизонтален, стержень *AC* составляет с горизонталью угол β = 60º. К шарниру *C* прикреплены два троса, удерживающие грузы 1 и 2 весом G_1 = 10 кН и G_2 = 12 кН. Трос, удерживающий груз 1, вертикален, а другой перекинут через блок *D* так, что угол наклона участка троса *CD* к вертикали α = 60º. Определить реакции стержней *BC* и *AC*.

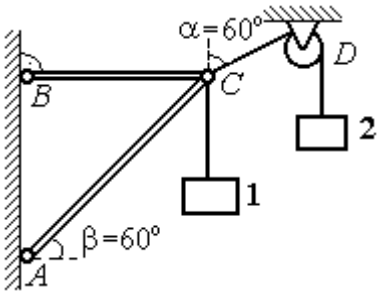


Рис. 1.9. Равновесие кронштейна

Решение

Рассмотрим равновесие узла *C*, в котором закреплены стержни и тросы. На узел *C* действуют реакции $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ тросов, натянутых грузами 1 и 2, и реакции $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$ стержней *BC* и *AC* (рис. 1.10). Модули реакций тросов $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ равны весу грузов: $T_1 = G_1$, $T_2 = G_2$.

Плоская система сил ($\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$, $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$) является сходящейся. Условия равновесия: $\sum F_{kx} = 0$, $\sum F_{ky} = 0$. Проведя оси координат xCy, как показано на рис. 1.10, и определяя проекции сил на оси, получим систему уравнений:

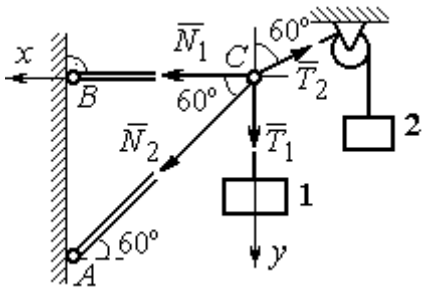


Рис. 1.10. Силы, действующие на узел *C* при его равновесии

$$N_1 + N_2\cos 60^\circ - T_2\cos 30^\circ = 0;$$

$$N_2\cos 30^\circ + T_1 - T_2\cos 60^\circ = 0.$$

Подставим в уравнения исходные данные задачи. С учётом того, что $T_1 = G_1 = 10$ кН, $T_2 = G_2 = 12$ кН, найдём значения реакций: N_1 = 12,7 кН, N_2 = – 4,62 кН. Отрицательная величина N_2 означает, что вектор $\vec{N}_2$ реакции стержня *AC* направлен в противоположную сторону.

Задача 3. Груз весом *P* = 20 кН поднимается стержневым краном *ABC* посредством каната, перекинутого через блоки *B* и *D* (рис. 1.11). Блок *B* установлен в месте шарнирного соединения невесомых стержней *AB* и *BC*, блок *D* укреплён так, что участок троса *DB* составляет с вертикалью угол $\beta = 60^\circ$. Стержни *AB* и *BC* соединены со стенками шарнирами. Конец троса, несущий груз *P*, переброшен через блок *E* и на отрезке *BE* составляет с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Пренебрегая трением в блоке и размерами блока *B*, определить усилия в стержнях *AB* и *BC* при равновесии груза.

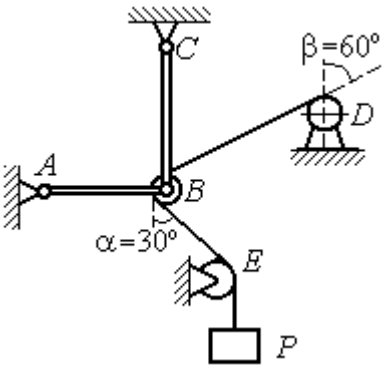


Рис. 1.11. Равновесие стержневой конструкции

Решение

Рассмотрим равновесие блока *B* вместе с отрезками нити *BE* и *BD*. Освободим блок *B* от связей и заменим их реакциями.

Рассматривая блок и отрезок нити как одно целое, можно не учитывать силы взаимного давления нити и блока. На блок действует реакция $\vec{T}$ нити *BD*, приложенная в точке *D*, численно равная весу груза *P*, реакция $\vec{T}'$ нити *BE*, приложенная в точке *E* и также численно равная весу груза *P* и реакции стержней $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$ (см. рис. 1.12).

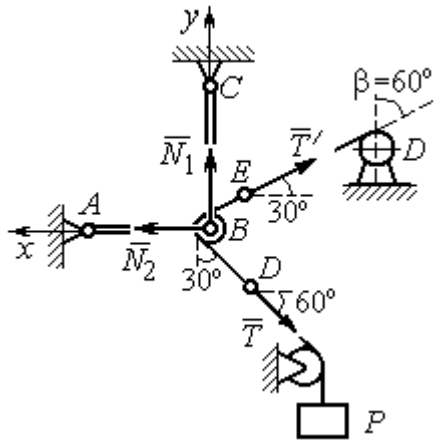


Рис. 1.12. Силы, действующие на блок *B*, при его равновесии

Пренебрегая размерами блока, можно считать систему сил сходящейся. Проведём координатные оси, как показано на рис. 1.12, и выразим условия равновесия плоской сходящейся системы сил в виде системы уравнений:

$$\sum F_{kx} = N_2 - T'\cos 30^\circ - T\cos 60^\circ = 0;\ \sum F_{ky} = N_1 + T'\cos 60^\circ - T\cos 30^\circ = 0.$$

Решая полученную систему уравнений с учётом, что $T' = T = P$ = 20 кН, получим: N_1 = 7,32 кН, N_2 = 27,32 кН.

Задача 4. Шахта ориентируется в вертикальной плоскости с помощью несвободного проволочного отвеса *CBDP*, натянутого грузом весом *P* = 50 Н (рис. 1.13).

Определить натяжения частей отвеса *CB*, *BD*, *DP* и натяжения оттяжек *BA* и *DE*, если угол отклонения оттяжки *BC* от горизонтали $\alpha = 60^\circ$, а отклонение средней части отвеса *BD* от вертикали $\beta = 4^\circ$. Весом проволоки отвеса пренебречь.

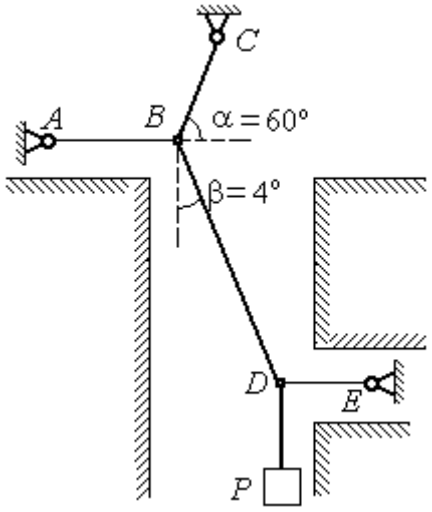


Рис. 1.13. Схема отвеса

Решение

Рассмотрим равновесие узла *D*, в котором сходятся три силы – реакция $\vec{S}$ средней части отвеса, реакция $\vec{T}_E$ оттяжки *DE* и реакция $\vec{T}_P$ отвеса на участке

DP, равная весу груза $T_P = P$ (рис. 1.14). Выберем оси координат *xDy*, как показано на рис. 1.14, и составим уравнения равновесия узла *D:*

$$\sum F_{kx} = S\cos 86^\circ - T_E = 0; \quad \sum F_{ky} = S\cos 4^\circ - T_P = 0.$$

Из второго уравнения с учётом, что натяжение отвеса на участке *DP* $T_P = P = 50$ Н, находим натяжение S на среднем участке отвеса: $S = \dfrac{T_P}{\cos 4^\circ} = 50{,}12$ Н. Из первого уравнения находим натяжение $T_E = S\cos 86^\circ = 3{,}49$ Н.

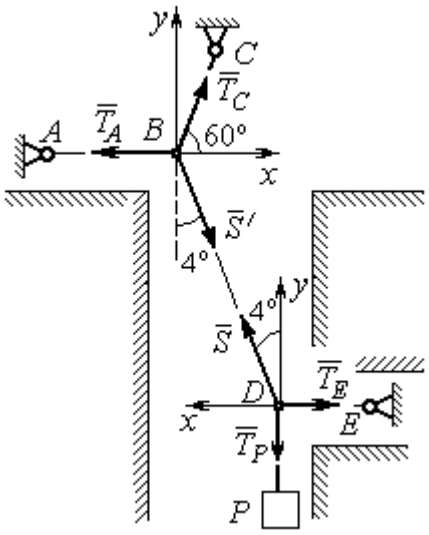


Рис.1.14. Силы, действующие в узлах *B* и *D* при равновесии

Теперь рассмотрим равновесие узла *B*, на который действуют реакция $\vec{T}_A$ оттяжки *BA*, реакция $\vec{T}_C$ верхней части отвеса *BC* и реакция $\vec{S}'$ средней части отвеса. Вектор силы $\vec{S}'$ противоположен направлению вектора $\vec{S}$: $\vec{S}' = -\vec{S}$, а численно (по принципу равенства действия и противодействия) они равны $S' = S$ (см. рис. 1.14). Выберем оси координат *xBy*, как показано на рис. 1.14, и составим уравнения равновесия узла *B:*

$$\sum F_{kx} = T_C\cos 60^\circ + S'\cos 86^\circ - T_A = 0; \quad \sum F_{ky} = T_C\cos 30^\circ - S'\cos 4^\circ = 0.$$

Находим натяжение отвеса на верхнем участке *BC* и натяжение T_A оттяжки *BA*: $T_C = \dfrac{S'\cos 4^\circ}{\cos 30^\circ} = 57{,}73$ Н; $T_A = T_C\cos 60^\circ + S'\cos 86^\circ = 32{,}36$ Н.

Задача 5. Груз *P* = 20 кН удерживается двумя стержнями *AC*, *AD* одинаковой длины и цепью *AB*, скреплённых в точке *A*, так, что плоскость треугольника *ADC* горизонтальна (рис. 1.15). Цепь *BA* отклонена от вертикальной стены на угол $\beta = 60^\circ$ и расстояние *CE* = *ED*. Трос закреплён одним концом в точке *A*, а другой его конец, несущий груз, переброшен через блок *K* так, что отрезок троса *AK* находится в плоскости, параллельной плоскости

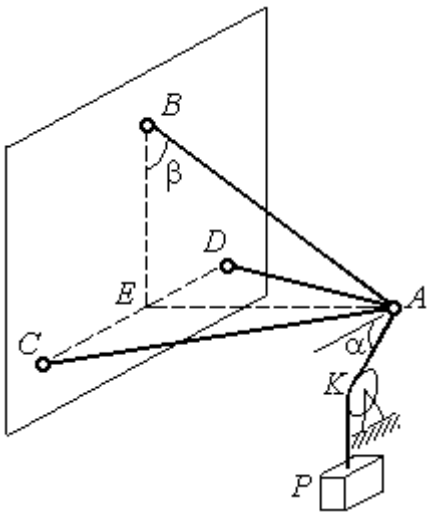


Рис. 1.15. Конструкция пространственного кронштейна

стены, и составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Крепления стержней шарнирные. Углы у оснований стержней $\angle DCA = \angle CDA = 60^\circ$. Определить реакции стержней и натяжение цепи. Весами стержней пренебречь.

Решение

Рассмотрим равновесие узла *A*. Освобождаем узел от связей, заменяя действие связей реакциями. Реакции стержней $\vec{S}_D$ и $\vec{S}_C$ направлены по стержням, реакция цепи $\vec{S}_B$ направлена вдоль линии натянутой цепи (рис. 1.16).

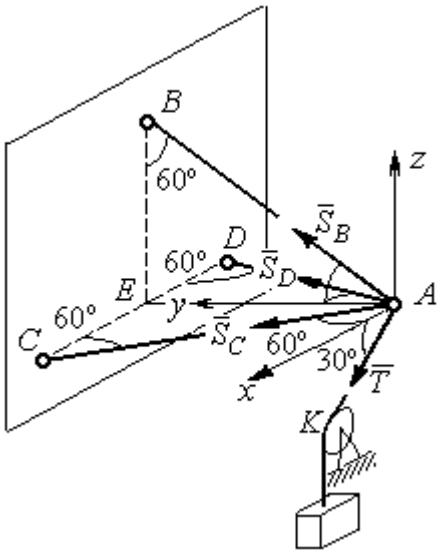


Рис. 1.16. Силы, действующие на узел *A*, при его равновесии

Реакция троса $\vec{T}$ направлена вдоль троса по линии *AK* и численно равна весу груза: $T = P$. Направления реакций выбраны в предположении, что стержни и цепь растянуты.

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.16. На узел *A* действует пространственная сходящаяся система сил.

Условия равновесия пространственной сходящейся системы сил $\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum F_{kz} = 0$, где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси. Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = S_C \cos 60^\circ - S_D \cos 60^\circ + T \cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = S_C \cos 30^\circ + S_D \cos 30^\circ + S_B \cos 30^\circ = 0; \quad \sum F_{kz} = S_B \cos 60^\circ - T \cos 60^\circ = 0.$$

Решая эту систему, находим $S_B = T = P = 20$ кН; $S_C = -27{,}32$ кН; $S_D = 7{,}32$ кН. Знак минус величины S_C показывает, что реакция стержня AC имеет обратное направление. Натяжение цепи равно модулю реакции $\vec{S}_B$.

Задача 6. Подъёмное устройство (рис. 1.17) состоит из двух стержневых опор *DB* и *DA* и растяжки *DC*, соединённых в точке *D*. В точке *D* к устройству прикреплена вертикальная нить, удерживающая груз весом *P* = 50 кН.

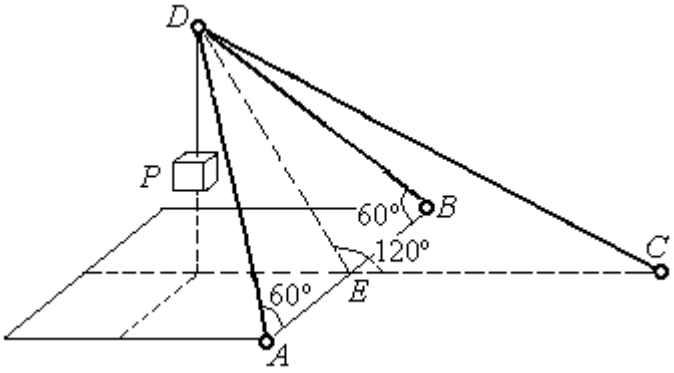


Рис. 1.17. Конструкция подъёмного устройства

Определить реакцию стержневых опор и усилие в растяжке подъёмного устройства, если крепления стержней шарнирные, угол $\angle DEC = 120^\circ$, $AE = EB$, $DE = EC$, а углы в основании опор $\angle DAB = \angle DBA = 60^\circ$.

Решение

Рассматриваем равновесие узла *D*. Освобождаем узел от связей, заменяя действие связей реакциями. Реакции стержней $\vec{S}_A$, $\vec{S}_B$, $\vec{S}_C$ направлены по стержням, реакция нити $\vec{T}$, численно равная весу тела, направлена вдоль нити (рис. 1.18). Направление реакций выбрано в предположении, что все стержни растянуты.

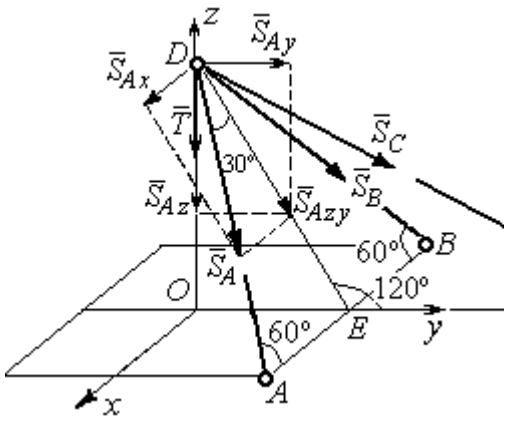


Рис. 1.18. Силы, действующие на узел *D*, при его равновесии

На узел *D* действует пространственная сходящаяся система сил. Выберем систему координат *Oxyz*, как показано на рис. 1.18, и составим уравнения равновесия. Заметим, что при определении проекции силы $\vec{S}_A$ на оси координат следует вначале получить её проекции $\vec{S}_{Ax}$

на ось Ox и $\vec{S}_{Azy}$ – на плоскость Oyz, а затем найти проекции силы $\vec{S}_{Azy}$ на оси Oy и Oz. На рис. 1.18 показана последовательность вычисления проекций силы $\vec{S}_A$ на оси координат: $S_{Ax} = S_A\cos60^\circ$, $S_{Ay} = S_{Azy}\cos60^\circ = S_A\cos30^\circ\cos60^\circ$, $S_{Az} = -S_{Azy}\cos30^\circ = -S_A\cos^2 30^\circ$. Определение проекций силы $\vec{S}_B$ производится аналогично. Сила $\vec{S}_C$ расположена в плоскости Oyz и имеет своими проекциями $S_{Cy} = S_C\cos30^\circ$, $S_{Cz} = -S_C\cos60^\circ$. В результате уравнения равновесия узла D принимают вид

$$\sum F_{ky} = S_A\cos30^\circ\cos60^\circ + S_B\cos30^\circ\cos60^\circ + S_C\cos30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kx} = S_A\cos60^\circ - S_B\cos60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = -S_A\cos^2 30^\circ - S_B\cos^2 30^\circ - S_C\cos60^\circ - T = 0.$$

Решая систему, получим: $S_A = S_B = -50$ кН, $S_C = 50$ кН.

Отрицательные значения S_A и S_B означают, что реакций стержней AD и DB направлены в противоположную сторону. В результате стержни AD и DB сжаты, а стержень DC растянут.

1.3. Произвольная плоская система сил

Система сил, расположенных в одной плоскости, называется **плоской системой сил.**

Алгебраическим моментом $M_O(\vec{F})$ силы $\vec{F}$ относительно центра O, или просто **моментом силы** $\vec{F}$ относительно центра, называют взятое с соответствующим знаком произведение модуля силы $\vec{F}$ и кратчайшего расстояния h от центра до линии действия силы (рис. 1.19, *а*): $M_O(\vec{F}) = \pm Fh$. Величину h называют **плечом силы.** Единица измерения момента – Н·м. Момент считается положительным, если сила $\vec{F}$ стремится повернуть тело вокруг центра в направлении против хода часовой стрелки, и отрицательным – в обратном случае.

На рис. 1.19, *b* показаны знаки моментов сил $\vec{F}$ и $\vec{Q}$ относительно центра *O*: $M_O(\vec{F}) = +Fh_2$, $M_O(\vec{Q}) = -Qh_1$. Момент силы $\vec{R}$ относительно центра *O* равен нулю: $M_O(\vec{R}) = 0$, так как плечо силы равно нулю.

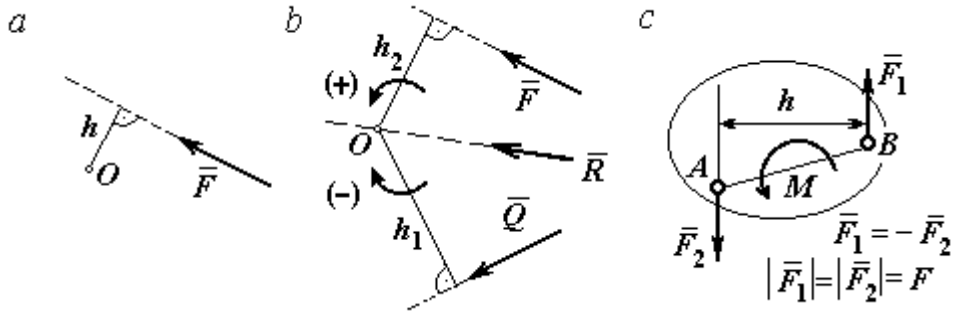


Рис. 1.19. Схемы к вычислению момента силы:
a, b – момент силы относительно центра; *c* – момент пары сил

Парой сил, или просто парой (рис.1.19, *c*), называют систему двух равных по модулю сил, параллельных, направленных в противоположные стороны и не лежащих на одной прямой. **Плечом пары** называют кратчайшее расстояние между линиями действия ее сил. Алгебраическим моментом пары сил, или **моментом пары,** называют взятое со знаком плюс или минус произведение модуля одной из сил пары и плеча пары. Правило знаков такое же, как и для момента силы. Пара сил, показанная на рис. 1.19, *c*, имеет плечо *h* и момент *M*: $M = F_1 h = F_2 h$. Поскольку пара сил характеризуется только ее моментом, на схемах пару часто изображают дуговой стрелкой, показывающей направление поворота твердого тела под действием пары (см. *M* на рис. 1.19, *c*).

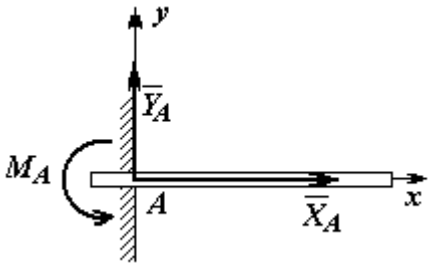


Рис. 1.20. Реакция жесткой заделки

Жесткая заделка. Такая связь (рис. 1.20) препятствует не только линейным перемещениям тела, но и повороту. Реакция жесткой заделки состоит из силы реакции $\vec{R}_A$ и пары сил с моментом M_A. Силу реакции жесткой заделки $\vec{R}_A$ изображают ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленными вдоль координатных

осей (см. рис. 1.20). Величина силы реакции $\vec{R}_A$ определяется по формуле: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}$.

При вычислении моментов сил часто применяют **теорему Вариньона** о том, что момент равнодействующей системы сил относительно любого центра равен сумме моментов всех сил этой системы относительно того же центра. На рис. 1.21 показана схема применения теоремы Вариньона. Силу $\vec{F}$ раскладываем на составляющие $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, направленные вдоль координатных осей так, что имеет место равенство $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Численно составляющие $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ равны проекциям силы $\vec{F}$ на координатные оси: $F_1 = F\cos\alpha$, $F_2 = F\sin\alpha$. Для каждой из составляющих находим плечи h_1 и h_2 относительно центра *O*. Тогда (с учётом знаков) момент силы $\vec{F}$ относительно центра *O*: $M_O(\vec{F}) = M_O(\vec{F}_1) + M_O(\vec{F}_2) = F_1 h_1 + F_2 h_2$.

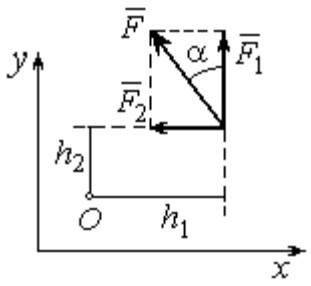


Рис.1.21. Применение теоремы Вариньона

Распределённая нагрузка. Силы, приложенные непрерывно вдоль некоторой поверхности, называются **распределенными**. Распределённая нагрузка характеризуется интенсивностью *q*. Интенсивность нагрузки, равномерно распределённой вдоль прямой, измеряется в Н/м. На рис. 1.22 приведена плоская система сил, равномерно распределённых вдоль прямой. Равнодействующая $\vec{Q}$ сил, равномерно распределённых вдоль прямой, приложена в середине отрезка действия распределённой нагрузки и по модулю равна произведению интенсивности нагрузки на длину её действия: $Q = qa$, где a – длина отрезка действия распределённой нагрузки.

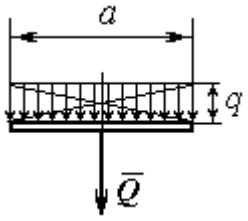


Рис. 1.22. Нагрузка, равномерно распределённая по прямой

Основная форма условий равновесия плоской системы сил. Для равновесия плоской системы сил необходимо и достаточно, чтобы суммы

проекций всех сил на каждую из двух осей прямоугольной системы координат, расположенной в плоскости действия сил, были равны нулю и сумма моментов сил относительно любого центра, находящегося в плоскости действия сил, была равна нулю:

$$\sum F_{kx} = 0,\ \sum F_{ky} = 0,\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky} – проекции всех сил на координатные оси; $M_A(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно произвольно выбранного центра A.

Примеры решения задач на равновесие произвольной плоской системы сил

Задача 7. Однородная балка *AB* весом *P* = 100 кН прикреплена к стене шарниром *A* (рис.1.23). Балка удерживается под углом 60° к вертикали при помощи троса, прикреплённого к балке в точке *B*, перекинутого через блок *D* и несущего груз *Q*. Участок троса *DB* образует с вертикалью угол 30°. В точке *C* к балке подвешен груз *G* весом *G* = 200 кН. Определить вес груза *Q*, удерживающий балку в равновесии, и реакцию шарнира *A*, пренебрегая трением в блоке, если расстояние $BC = 0{,}25BA$.

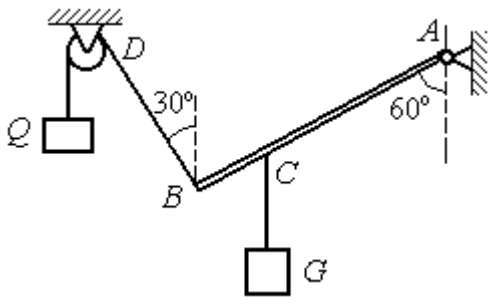


Рис. 1.23. Равновесие балки

Решение

Объектом равновесия является балка *AB*. На балку действуют сила тяжести $\vec{P}$, приложенная в середине отрезка *AB*, реакция шарнира *A*, представленная в виде двух составляющих $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленных вдоль координатных осей, реакция $\vec{T}_1$ нити, удерживающей груз *Q*, и реакция $\vec{T}_2$ нити, удерживающей груз *G*. Направления сил и реакций связей показаны на рис. 1.24.

Силы – $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$, $\vec{P}$, $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, действующие на балку, составляют произвольную плоскую систему. Условия равновесия произвольной плоской системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0;\ \sum F_{ky} = 0;\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0.$$

Выберем систему координат *xAy,* как показано на рис. 1.24.

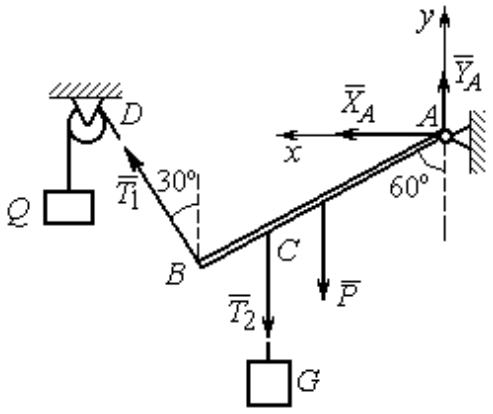


Рис. 1.24. Внешние силы и реакции связей при равновесии балки

Первые два уравнения равновесия имеют вид

$$\sum F_{kx} = X_A + T_1\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A + T_1\cos 30^\circ - T_2 - P = 0.$$

Выберем центром точку *A* и будем вычислять моменты сил относительно этого центра. Обозначим (для удобства записи) длину $AB = \ell$. Условие равновесия балки в форме равенства нулю суммы моментов сил относительно центра *A* имеет вид

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -T_1\ell + T_2\frac{3}{4}\ell\cos 30^\circ + P\frac{1}{2}\ell\cos 30^\circ = 0.$$

Подставим данные из условия задачи, с учётом, что реакция нити, удерживающей груз *Q,* по модулю равна весу этого груза: $T_1 = Q$, а реакция нити, удерживающей груз *G*, численно равна весу груза *G*: $T_2 = G$.

Получим систему уравнений:

$$X_A + Q\cdot 0{,}5 = 0,\ Y_A + Q\cdot 0{,}866 - 300 = 0,\ -Q + 173{,}2 = 0.$$

Решая систему, найдём Q = 173,2 кН, X_A = – 86,6 кН, Y_A = 150,01 кН.

Задача 8. Рама *ACE* (рис. 1.25, *а*) в точке *A* закреплена на цилиндрической шарнирной опоре, а в точке *B* поддерживается вертикальным невесомым стержнем *BK*. На раму действуют: пара сил с моментом *M* = 8 кН·м, сила $\vec{F}$, равная по модулю *F* = 10 кН, приложенная в точке *D* под углом 60° к раме, и равномерно распределенная на отрезке *AB* нагрузка интенсивностью *q* =2 кН/м.

В точке *E* под прямым углом к отрезку *CE* рамы прикреплен трос, переброшенный через блок и несущий груз P = 20 кН.

Пренебрегая весом балки, определить реакцию шарнира *A* и реакцию стержневой опоры *BK*, если a = 2 м.

Решение

Рассмотрим равновесие рамы *ACE*. Выбираем систему координат *xAy*, например, как показано на рис. 1.25, *b*.

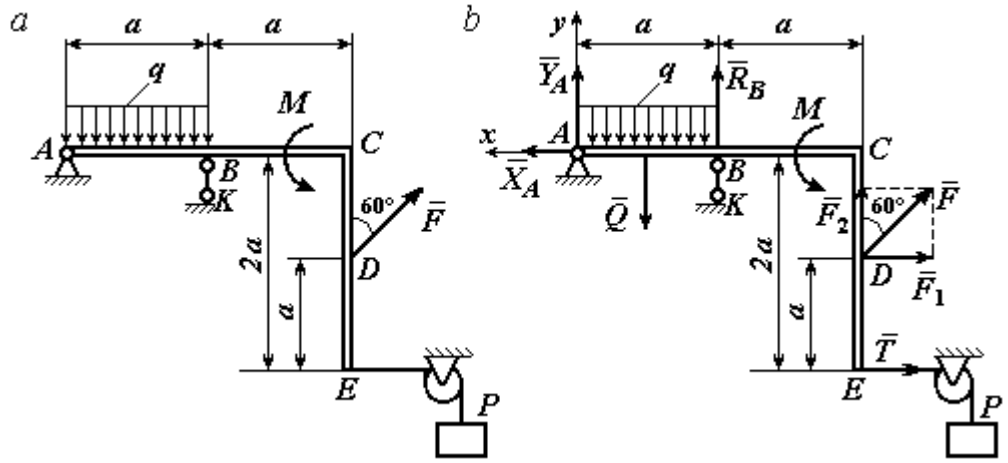


Рис. 1.25. Равновесие рамы:
a – конструкция и нагрузка рамы; *b* – внешние силы и реакции связей при равновесии рамы

Заменяем действие связей их реакциями. Изображаем реакцию $\vec{R}_A$ шарнира *A* двумя ее составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, направленными, соответственно, вдоль горизонтальной оси *Ax* и вертикальной *Ay*. Реакция $\vec{R}_B$ невесомой стержневой опоры *BK* приложена в точке *B* и направлена вдоль стержня *BK*. Действие груза *P* на раму изображается реакцией троса $\vec{T}$, модуль которой равен весу груза $T = P$. Заменяем распределенную нагрузку её равнодействующей $\vec{Q}$. Сила $\vec{Q}$ приложена в середине отрезка *AB* и численно равна: $Q = qa$ = 2·2 = 4 кН. На рис. 1.25, *b* показано направление внешних сил и реакций при равновесии рамы. Направление реакции стержневой опоры *BK* выбрано в предположении, что стержень сжимается.

При равновесии рамы *ACE* действующие на неё силы составляют уравновешенную произвольную плоскую систему сил ($\vec{Q}, \vec{F}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{R}_B, \vec{T}, M$) ~ 0. Условия равновесия имеют вид $\sum F_{kx} = 0$; $\sum F_{ky} = 0$; $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$. Вычисляя проекции сил на оси *Ax*, *Ay*, первые два уравнения из условий равновесия получим в виде:

$$\sum F_{kx} = X_A - F\cos 30^\circ - T = 0; \quad \sum F_{ky} = Y_A - Q + R_B + F\cos 60^\circ = 0. \qquad (1.1)$$

При составлении третьего уравнения моменты сил будем вычислять относительно центра *A*. В этом случае линии действия сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, составляющих реакцию шарнира *A*, проходят через центр *A*, плечи сил равны нулю, и, следовательно, моменты этих сил относительно данного центра равны нулю: $M_A(\vec{X}_A) = 0$, $M_A(\vec{Y}_A) = 0$.

При определении момента силы $\vec{F}$ удобнее воспользоваться теоремой Вариньона. С этой целью представим вектор силы $\vec{F}$ как равнодействующую двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, параллельных осям *Ax* и *Ay*: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ (см. рис. 1.25, *b*). Величины сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ определяются как проекции силы *F* на оси координат: $F_1 = F\cos 30^\circ$, $F_2 = F\cos 60^\circ$. По теореме Вариньона момент силы $\vec{F}$ относительно центра *A* равен сумме моментов сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ относительно того же центра *A*: $M_A(\vec{F}) = M_A(\vec{F}_1) + M_A(\vec{F}_2) = F_1 \cdot a + F_2 \cdot 2a$.

В результате уравнение равновесия в форме моментов имеет вид

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -Q \cdot 0{,}5a + R_B a + M + F\cos 60^\circ \cdot 2a + F\cos 30^\circ \cdot a + T2a = 0. \quad (1.2)$$

Подставляя в уравнения равновесия (1.1), (1.2) численные значения из условий задачи, получим систему уравнений относительно неизвестных X_A, Y_A, R_B. Решая эту систему, найдем: X_A = 28,66 кН; Y_A = 59,66 кН; R_B = – 60,66 кН.

Отрицательное значение величины R_B означает, что фактическое направление реакции $\vec{R}_B$ стержневой опоры BK противоположно направлению, показанному на рис. 1.25, *b*, т. е. стержень BK растягивается. Реакция шарнирной опоры *A* – сила $\vec{R}_A$ – находится как геометрическая (векторная) сумма сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$. Величина реакции $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = \sqrt{28{,}66^2 + 59{,}66^2} = 66{,}18$ кН.

Задача 9. Прямоугольная рама *ABCED* (рис. 1.26) в точке *A* закреплена жёсткой заделкой. В точке *E* к раме прикреплена нить, составляющая угол 60º к горизонту. Другой конец нити, переброшенный через невесомый блок, несёт груз весом *P* = 15 кН. На раму действуют: пара сил с моментом *M* = 12 кН·м, сила $\vec{F}$, равная по модулю *F* = 10 кН, приложенная в точке *C* под углом 30° к горизонтальному участку рамы *BE*, и равномерно распределенная на отрезке *BC* нагрузка интенсивностью *q* = 2 кН/м. В точке *D* под углом 60° к горизонту на раму действует сила $\vec{G}$, численно равная 20 кН.

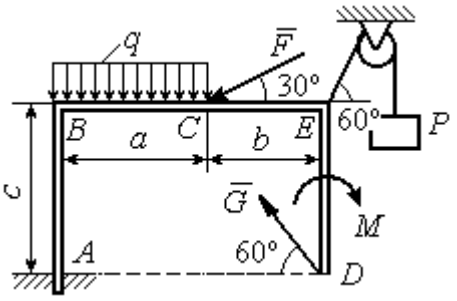


Рис. 1.26. Конструкция рамы

Пренебрегая весом рамы, определить реакцию жесткой заделки в точке *A*, если размеры рамы: *a* = 2 м, *b* = 1 м, *c* = 5 м.

Решение

Объектом равновесия является рама *ABCED*. Связями в данной конструкции являются жесткая заделка рамы в точке *A* и нить, натянутая грузом *P*. Заменяем действие связей их реакциями. Изображаем реакцию жесткой заделки в точке *A* в виде силы, которую представим двумя ее составляющими – $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, и парой сил с моментом M_A (рис. 1.27). Реакция нити $\vec{T}$, приложенная

к раме в точке *E*, направлена вдоль нити и численно равна весу груза $T = P$. Заменяем распределенную нагрузку её равнодействующей $\vec{Q}$. Сила $\vec{Q}$ риложена в середине отрезка *AB* и численно авна: $Q = qa = 4$ кН.

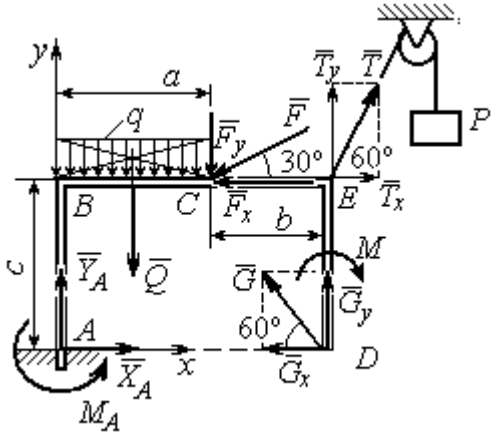


Рис. 1.27. Внешние силы и реакции связей при равновесии рамы

Действующие на раму силы составляют равновешенную произвольную плоскую истему сил: $(\vec{Q}, \vec{F}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{G}, \vec{T}, M) \sim 0$. Условия равновесия для такой системы сил: $\sum F_{kx} = 0$; $\sum F_{ky} = 0$; $\sum M_A(\vec{F}_k) = 0$.

Выбираем систему координат *xAy*, например, как показано на рис. 1.27, и составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A - F\cos 30^\circ + T\cos 60^\circ - G\cos 60^\circ = 0; \qquad (3)$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - Q - F\cos 60^\circ + T\cos 30^\circ + G\cos 30^\circ = 0. \qquad (4)$$

Моменты сил будем вычислять относительно центра *A*. В этом случае моменты сил $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$ равны нулю: $M_A(\vec{X}_A) = 0$; $M_A(\vec{Y}_A) = 0$.

При определении момента силы $\vec{F}$ удобно воспользоваться теоремой Вариньона. С этой целью представим вектор силы $\vec{F}$ как равнодействующую двух сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$, параллельных осям *Ax* и *Ay*: $\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$ (см. рис. 1.27). Величины сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ определяются как проекции силы $\vec{F}$ на оси координат: $F_x = F\cos 30^\circ$, $F_y = F\cos 60^\circ$. Плечо вектора силы $\vec{F}_x$ относительно центра *A* равно *c* (как длина перпендикуляра, проведённого из центра *A* на линию действия силы $\vec{F}_x$), плечом силы $\vec{F}_y$ является расстояние *a*. По теореме Вариньона момент силы $\vec{F}$ относительно центра A равен алгебраической сумме моментов сил $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ относительно того же центра:

$$M_A(\vec{F}) = M_A(\vec{F}_x) + M_A(\vec{F}_y) = F_x \cdot c - F_y \cdot a = F\cos 30^\circ \cdot c - F\cos 60^\circ \cdot a.$$

Аналогично вычисляем моменты сил $\vec{G}$ и $\vec{T}$: $M_A(\vec{G}) = G\cos 30^\circ \cdot (a+b)$; $M_A(\vec{T}) = -T\cos 60^\circ \cdot c + T\cos 30^\circ \cdot (a+b)$. В результате уравнение моментов имеет вид:

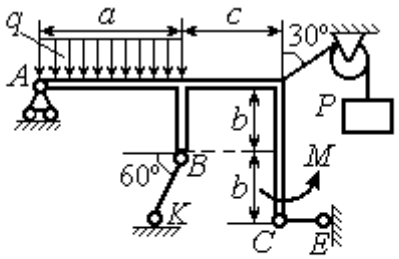
$$\sum M_A(\vec{F}_k) = F\cos 30^\circ \cdot c - F\cos 60^\circ \cdot a - T\cos 60^\circ \cdot c + T\cos 30^\circ \cdot (a+b) +$$

$$+ G\cos 30^\circ \cdot (a+b) - Q\frac{a}{2} - M + M_A = 0. \qquad (1.5)$$

Подставляя в уравнения равновесия (1.3) – (1.5) численные значения из условий задачи, получим систему уравнений относительно неизвестных X_A, Y_A, M_A, откуда найдём значения реакций: $X_A = 11{,}16$ кН; $Y_A = -21{,}31$ кН; $M_A = -70{,}73$ Н·м. Знаки показывают, что составляющая $\vec{Y}_A$ силы реакции жёсткой заделки и момент реакции M_A направлены в противоположную сторону. Величина силы реакции жесткой заделки $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 24{,}05$ кН.

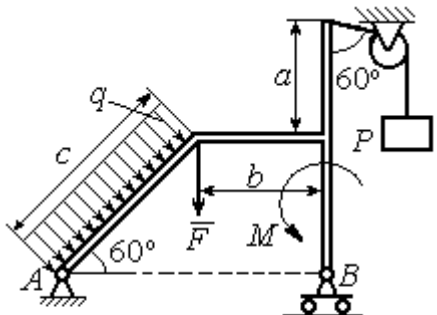
Упражнения

Упражнение 1.1



$a = 3$ м, $b = 1$ м, $c = 2$ м,
$P = 15$ кН, $M = 3$ кНм, $q = 5$ кН/м.
Найти реакцию стержней BK, CE
и реакцию шарнира A

Упражнение 1.2

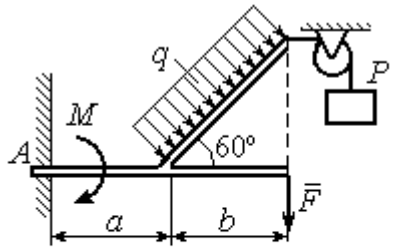


$a = 2$ м, $b = 1$ м, $c = 3$ м,
$M = 3$ кНм, $q = 3$ кН/м,
$P = 2$ кН, $F = 4$ кН.
Найти реакцию шарниров A и B

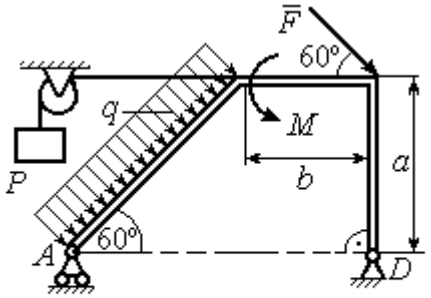
Рис. 1.28. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.1, 1.2

Упражнение 1.3

Упражнение 1.4



$a = 1$ м, $b = 2$ м, $F = 2$ кН,
$P = 3$кН, $M = 3$ кН·м,
$q = 2$ кН/м
Найти реакцию жесткой заделки



$a = 3$ м, $b = 1$ м, $P = 2$ кН, $F = 3$ кН,
$M = 3$ кН·м, $q = 2$ кН/м.
Найти реакцию шарниров A и D

Рис. 1.29. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.3, 1.4

1.4. Равновесие систем тел

Связи, соединяющие части конструкции, называются **внутренними** в отличие от **внешних** связей, скрепляющих конструкцию с внешними телами, не входящими в данную конструкцию.

Одним из способов решения задач на равновесие сил, действующих на сочленённую конструкцию, является **разбиение конструкции на отдельные тела** и составление уравнений равновесия для каждого из тел, входящих в конструкцию. В уравнения равновесия будут входить только силы, непосредственно приложенные к телу, равновесие которого рассматривается. **При этом реакции внутренних связей, приложенные к разным телам, будут попарно равны по модулю и противоположны по направлению.**

Примеры решения задач на равновесие систем тел

Задача 10. Диск весом Q = 100 кН опирается на вертикальную стенку и на наклонную балку AB. На диск действует сила $\vec{F}$, равная по величине 50 кН (рис. 1.30). Линия действия силы $\vec{F}$ проходит через центр диска под углом 30º к его вертикальному диаметру.

Однородная балка AB весом G = 80 кН закреплена в точке A шарнирно и удерживается под углом 60º к стене при помощи вертикального троса, один конец которого закреплён на балке в точке B, а другой – переброшен через блок и несёт груз весом P. Определить давление диска на стенку и на балку, реакцию шарнира A и вес груза P, удерживающий конструкцию в равновесии, если длина балки AB ℓ = 6 м, радиус диска r = 1 м.

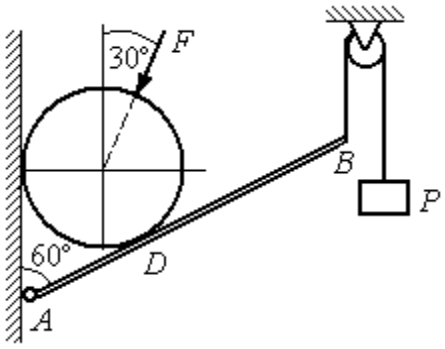


Рис. 1.30. Равновесие составной конструкции

Решение

Объект равновесия включает балку и диск и представляет собой составную конструкцию. Опора диска на балку в точке D является внутренней связью конструкции. Рассмотрим равновесие диска и балки отдельно.

Освобождаем диск от связей. На диск действует сила веса $\vec{Q}$, сила $\vec{F}$ и реакции $\vec{N}$ и $\vec{R}$ опор диска на стену в точке K и на балку в точке D (рис. 1.31). Силы, приложенные к диску, составляют плоскую систему сходящихся сил. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.31, и составим уравнения равновесия:

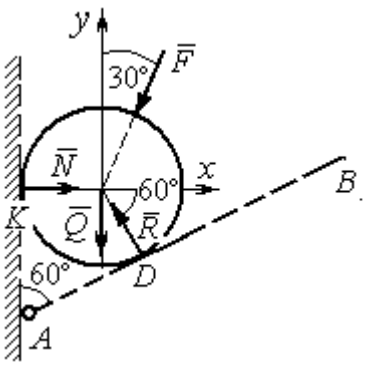


Рис. 1.31. Внешние силы и реакции связей при равновесии диска

$$\sum F_{kx} = -F\cos 60^\circ - R\cos 60^\circ + N = 0; \quad (1.6)$$

$$\sum F_{ky} = -F\cos 30^\circ + R\cos 30^\circ - Q = 0. \quad (1.7)$$

Рассмотрим равновесие балки AB (рис. 1.32).

На балку действуют сила тяжести $\vec{G}$, реакция шарнира A, (на рис. 1.32 показано её разложение на составляющие $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$), реакция нити $\vec{T}$, численно равная весу груза P, и сила $\vec{R}'$ давления диска на балку. Сила давления $\vec{R}'$ противоположна реакции $\vec{R}$ опоры диска на балку и численно равна ей.

Система сил ($\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{G}, \vec{T}, \vec{R}'$), действующих на балку, является произвольной плоской. Условия равновесия такой системы сил:

$$\sum F_{kx} = 0;\ \sum F_{ky} = 0;\ \sum M_A(\vec{F}_k) = 0.$$

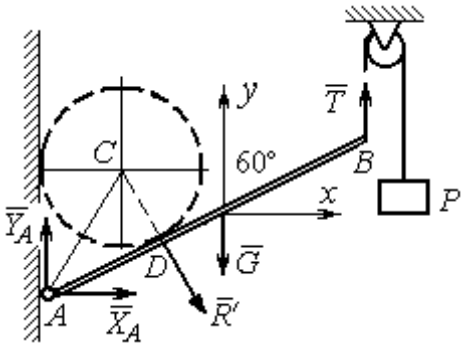


Рис. 1.32. Силы, действующие на балку, при равновесии

Выберем оси, как показано на рис. 1.32, и составим уравнения равновесия, полагая точку *A* центром, относительно которого производятся вычисления моментов сил:

$$\sum F_{kx} = X_A + R'\cos 60^\circ = 0, \tag{1.8}$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - R'\cos 30^\circ - G + T = 0, \tag{1.9}$$

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -R' \cdot AD - G \cdot \frac{\ell}{2}\cos 30^\circ + T\ell\cos 30^\circ = 0. \tag{1.10}$$

Добавив к уравнениям (1.8) – (1.10) равновесия балки *AB* уравнения (1.6), (1.7) равновесия диска с учётом, что $R' = R$, получим систему пяти уравнений с пятью неизвестными. Подставляя данные из условия задачи и решая совместную систему, найдём: R = 165,47 кН; N = 107,74 кН; P = 95,26 кН; X_A = – 82,73 кН; Y_A = 128,03 кН.

Сила давления диска на стену равна модулю реакции опоры $\vec{N}$ и направлена в противоположную сторону, сила давления диска на балку равна $\vec{R}'$.

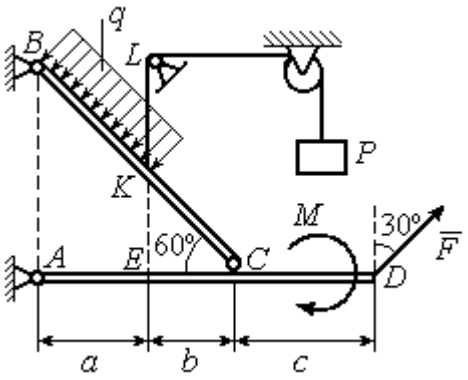


Рис.1.33. Равновесие кронштейна как сочленённой конструкции

Задача 11. Кронштейн состоит из горизонтальной балки *AD*, прикрепленной к вертикальной стене в точке *A*, и откоса *BC*, соединённого с балкой *AD* в точке *C* под углом 60º и прикреплённого к вертикальной стене в точке *B* (рис. 1.33). Все соединения шарнирные. На конструкцию действуют сила $\vec{F}$, приложенная в точке *D* под углом 30º к вертикали и равная по модулю F =10 кН, пара сил с моментом M = 8

кН·м и равномерно распределенная на отрезке *BK* нагрузка интенсивностью q = 3 кН/м. В точке *K* к балке *BC* прикреплена нить, другой конец которой, переброшенный через невесомые блоки, несёт груз весом P = 5 кН (см. рис. 1.33).

Определить реакции шарниров *A*, *B* и *C*, если a = 2 м, b = 1 м, c = 3 м, а на отрезке *KL* нить натянута вертикально.

Решение

Рассмотрим равновесие каждой из составных частей конструкции – балки *BC* и балки *AD*. Освобождаем балки от связей и заменяем их реакциями (рис. 1.34).

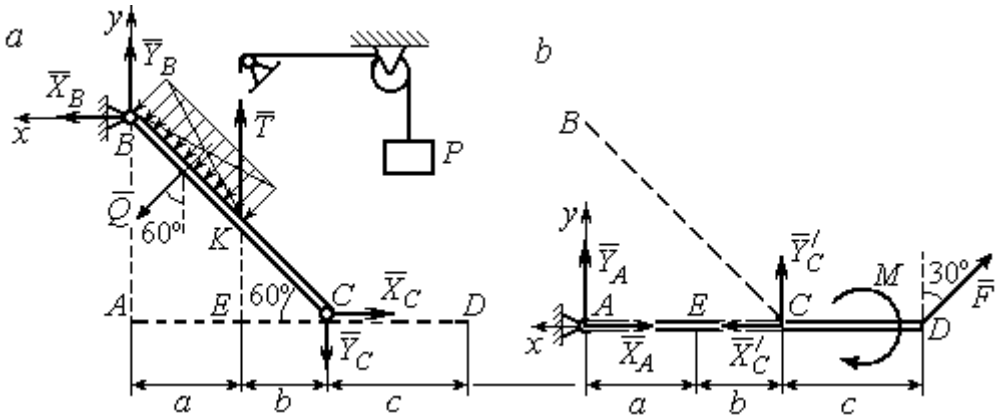


Рис. 1.34. Равновесие элементов конструкции кронштейна:
a - силы, действующие на балку *BC*; *b* - силы, действующие на балку *AD*

На рис. 1.34, *a* показаны реакции внешних и внутренних связей балки *BC* : реакция $\vec{R}_B$ шарнира *B*, реакция нити $\vec{T}$, равная по величине весу груза, $T = P$ и реакция $\vec{R}_C$ внутреннего шарнира *C*. Реакции шарниров *B* и *C* представлены в виде разложения на составляющие $\vec{X}_B$, $\vec{Y}_B$ и $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$. Заменяем равномерную нагрузку равнодействующей силой $\vec{Q}$, приложенной в середине отрезка *BK* (см. рис. 1.34, *a*) и численно равной $Q = q \cdot BK = q \cdot \dfrac{a}{\cos 60^\circ} = q \cdot 2a$.

Система сил ($\vec{Q}$, $\vec{X}_B, \vec{Y}_B, \vec{X}_C, \vec{Y}_C, \vec{T}$), действующая на балку *BC*, является произвольной плоской уравновешенной системой сил. Выберем оси координат

xBy, как показано на рис. 1.34, *а*, и составим уравнения равновесия. При этом моменты сил будем вычислять относительно центра *C*:

$$\sum F_{kx} = X_B + Q\cos 30^\circ - X_C = 0; \tag{1.11}$$

$$\sum F_{ky} = Y_B - Q\cos 60^\circ + T - Y_C = 0; \tag{1.12}$$

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = X_B \cdot AB - Y_B(a+b) - Tb + Q\left(CK + \frac{1}{2}BK\right) = 0, \tag{1.13}$$

где $AB = (a+b)\mathrm{tg}60^\circ$; $CK = 2b$; $\frac{1}{2}BK = a$.

Рассмотрим равновесие балки *AD* (рис. 1.34, *b*).

На балку действует сила $\vec{F}$, реакция $\vec{R}_A$ шарнира *A* и реакция $\vec{R}'_C$ внутреннего шарнира *C*. Реакция $\vec{R}'_C$ равна по величине и противоположна по направлению реакции $\vec{R}_C$. На рис. 1.34, *b* реакция $\vec{R}_A$ представлена составляющими $\vec{X}_A$ и $\vec{Y}_A$, реакция $\vec{R}'_C$ – составляющими $\vec{X}'_C$ и $\vec{Y}'_C$. При этом следует отметить: $\vec{X}'_C = -\vec{X}_C$; $\vec{Y}'_C = -\vec{Y}_C$.

Выберем оси координат *xAy* как показано на рис. 1.34, *b*, и составим уравнения равновесия балки *AD*, вычисляя моменты сил относительно центра *C*:

$$\sum F_{kx} = -X_A + X'_C - F\cos 60^\circ = 0; \tag{1.14}$$

$$\sum F_{ky} = Y_A + Y'_C + F\cos 30^\circ = 0; \tag{1.15}$$

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = -Y_A(a+b) + F\cos 30^\circ \cdot c - M = 0. \tag{1.16}$$

Решая совместно систему уравнений (1.11) – (1.16) с учётом исходных данных задачи и равенства модулей сил $X_C = X'_C$ и $Y_C = Y'_C$, находим:

$$X_A = 5{,}99 \text{ кН},\ Y_A = 5{,}99 \text{ кН},\ X_C = 10{,}99 \text{ кН},\ Y_C = -14{,}65 \text{ кН};$$

$$X_B = 0{,}6 \text{ кН},\ Y_B = -13{,}65 \text{ кН},$$

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 8{,}47 \text{ кН},\ R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = 18{,}31 \text{ кН},$$

$$R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} = 13{,}65 \text{ кН}.$$

Задача 12. Вертикальная балка *AB* с горизонтальной перекладиной *LC* закреплена в точке *A* с помощью жесткой заделки (рис. 1.35). Наклонная балка *EC* с углом наклона к горизонту 60° точке *C* шарнирно прикреплена к горизонтальной перекладине *LC* балки *AB*, а в точке *E* опирается на каток установленный на горизонтальной поверхности. На конструкцию действуют равномерно распределенная на отрезках *BL* и *DE* нагрузка с одинаковой интенсивностью $q = 2$ кН/м, сила $\vec{F}$, приложенная в точке *D* перпендикулярно балке *EC* и равная по величине $F = 10$ кН, и пара сил с моментом $M = 5$ кН·м. Определить реакцию жесткой заделки *A* и реакции шарниров *C* и *E*, если параметр *a*, определяющий размеры конструкции, равен $a = 2$ м.

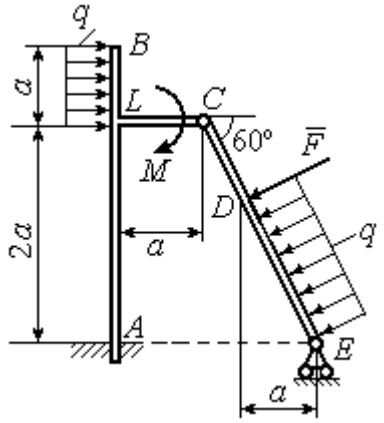


Рис. 1.35. Равновесие сочленённой конструкции

Решение

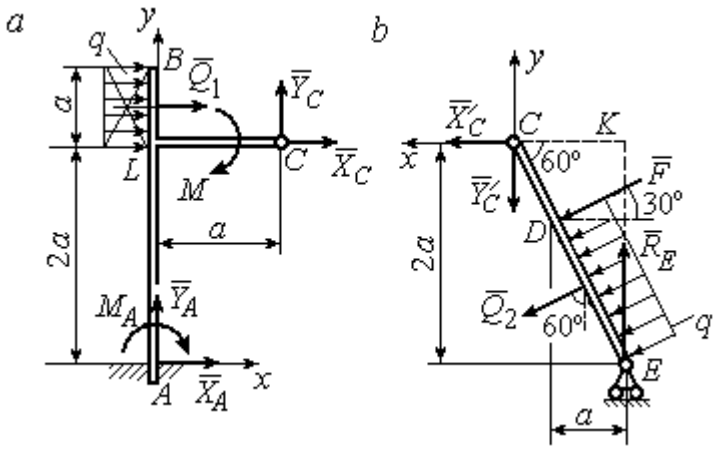


Рис. 1.36. Равновесие элементов конструкции:
a - силы и реакции связей, действующие на балку *AB*;
b - силы и реакции связей, действующие на балку *CE*

Разделим систему на две части по шарниру *C* и рассмотрим равновесие балок *ABC* и *EC* отдельно.

Рассмотрим балку *ABC* (рис. 1.36, *a*). Заменим распределенную нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_1$, численно равной $Q_1 = qa = 4$ кН. На балку действует сила $\vec{Q}_1$, пара сил с моментом *M* и реакции связей – жёсткой заделки в точке *A* и шарнира *C*.

На рис. 1.36, *a* изображена реакция жесткой заделки в точке *A* в виде силы, разложенной на составляющие $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, и пары с моментом M_A. Реакция $\vec{R}_C$ шарнира *C* показана разложением на составляющие $\vec{X}_C, \vec{Y}_C$. Силы образуют произвольную плоскую систему.

Введём систему координат, как показано на рис. 1.36, *a,* и составим уравнения равновесия балки, выбрав центром вычисления моментов сил точку *A*.

Имеем систему

$$\sum F_{kx} = X_A + Q_1 + X_C = 0; \quad \sum F_{ky} = Y_A + Y_C = 0; \tag{1.17}$$

$$\sum M_A(\vec{F}_k) = -M_A - Q_1 \cdot \left(2a + \frac{a}{2}\right) - M + Y_C a - X_C 2a = 0. \tag{1.18}$$

Рассмотрим теперь равновесие балки *EC* (рис. 1.36, *b*). Заменим распределённую нагрузку эквивалентной силой $\vec{Q}_2$, приложенной в середине отрезка *ED* и равной $Q_2 = \dfrac{qa}{\cos 60^\circ} = q \cdot 2a = 8$ кН. На балку действуют силы $\vec{Q}_2$, $\vec{F}$, реакция $\vec{R}_E$ подвижной опоры – катка *E* и реакция $\vec{R}'_C$ шарнира *C*. На рис. 1.36, *b* реакция $\vec{R}'_C$ показана в виде разложения на составляющие $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$. При этом силы $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ направлены противоположно силам $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ и равны им по модулю: $X_C = X'_C$; $Y_C = Y'_C$ (см. рис. 1.36, *a, b*).

Действующие на балку *EC* силы образуют уравновешенную произвольную плоскую систему сил. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.36, *b*, и составим уравнения равновесия, вычисляя моменты сил относительно центра *C*. Получим:

$$\sum F_{kx} = Q_2 \sin 60^\circ + F\cos 30^\circ + \vec{X}'_C = 0, \tag{1.19}$$

$$\sum F_{ky} = R_E - Q_2 \cos 60^\circ - F\sin 30^\circ - Y'_C = 0, \tag{1.20}$$

$$\sum M_C(\vec{F}_k) = -F \cdot \left(\frac{2a}{\cos 30^\circ} - 2a\right) - Q_2 \cdot \left(\frac{2a}{\cos 30^\circ} - a\right) + R_E \cdot 2a\,\mathrm{tg}\,30^\circ = 0. \tag{1.21}$$

Подставим в совместную систему (1.17) – (1.21) исходные данные задачи и, воспользовавшись тем, что модули сил $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$ и $\vec{X}'_C$, $\vec{Y}'_C$ равны, найдём:

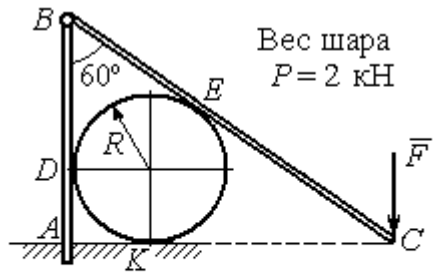
$$X_A = 11{,}59 \text{ кН}; \quad Y_A = -2{,}76 \text{ кН}; \quad M_A = 42{,}87 \text{ кН·м};$$

$$X_C = -15{,}59 \text{ кН}; \quad Y_C = 2{,}76 \text{ кН}; \quad R_E = 11{,}76 \text{ кН}.$$

Полные величины сил реакции жесткой заделки и взаимного давления в шарнире C: $R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = 11{,}91$ кН; $R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = 15{,}83$ кН.

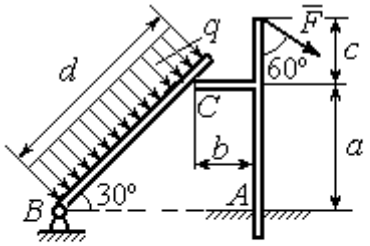
Упражнения

Упражнение 1.5



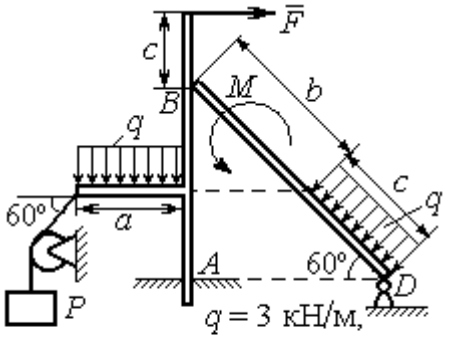
$R = 1$ м, $F = 8$ кН.
Найти реакцию жесткой заделки в точке A, реакцию шарнира B, реакцию опоры шара в точках D, K, E

Упражнение 1.6



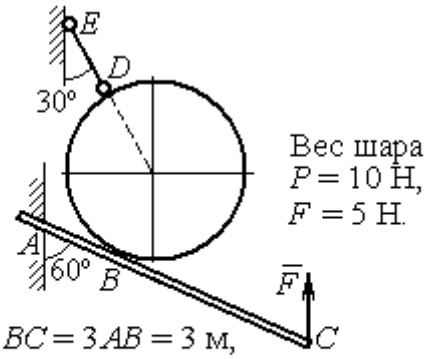
$a = 2$ м, $b = 1$ м, $c = 1$ м, $d = 5$ м,
$q = 3$ кН/м, $F = 4$ кН.
Найти реакцию жесткой заделки в точке A, реакцию шарнира B и реакцию опоры в точке C

Упражнение 1.7



$F = 4$ кН, $P = 3$ кН, $M = 2$ кН·м,
$a = 2$м, $b = 3$м, $c = 1$м
Найти реакцию заделки A, шарнира D и реакцию опоры B

Упражнение 1.8



Найти реакцию жесткой заделки A, реакцию стержня DE и реакцию опоры в точке B

Рис. 1.37. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.5 – 1.8

1.5. Произвольная пространственная система сил

Моментом силы относительно оси называют момент вектора проекции этой силы на плоскость, перпендикулярную оси, относительно точки пересечения оси с плоскостью. На рис. 1.38 показано вычисление момента силы $\vec{F}$ относительно оси *z*:

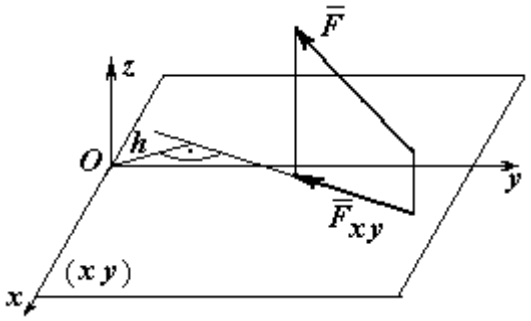


Рис. 1.38. Момент силы относительно оси

$$M_z(\vec{F}) = M_O(\vec{F}_{xy}) = F_{xy}h,$$

где O – точка пересечения оси z с плоскостью xy, перпендикулярной оси z; $\vec{F}_{xy}$ – вектор проекции силы $\vec{F}$ на плоскость xy; h – плечо силы $\vec{F}_{xy}$ относительно центра O. Момент силы относительно оси считается положительным, если при взгляде с положительного направления оси он создаёт вращение против хода часовой стрелки.

Равновесие пространственной системы сил. Для равновесия пространственной системы сил необходимо и достаточно, чтобы суммы проекций всех сил на оси прямоугольной системы координат x, y, z были равны нулю и суммы моментов всех сил относительно тех же осей также были равны нулю:

$$\sum F_{kx} = 0;\ \sum F_{ky} = 0;\ \sum F_{kz} = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = 0;\quad \sum M_y(\vec{F}_k) = 0;\quad \sum M_z(\vec{F}_k) = 0,$$

где F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} – проекции всех сил на координатные оси; $M_x(\vec{F}_k)$, $M_y(\vec{F}_k)$, $M_z(\vec{F}_k)$ – моменты всех сил относительно выбранных осей, k = 1, 2, ...

Примеры решения задач на равновесие пространственных систем сил

Задача 13. Горизонтальный вал (рис. 1.39) закреплен в подпятнике *C* и подшипнике *K*. Вал имеет шкив *B* радиуса *R* и шкив *D* радиуса *r*.

Оба шкива перпендикулярны оси вала. Рукоять *AE* параллельна оси *Cx*.

Нить, удерживающая груз *Q*, сходит со шкива *D* по касательной в точке *L* параллельно плоскости *zCx*, так что радиус шкива *D*, проведённый в точку схода нити, составляет с вертикальным диаметром угол 30º.

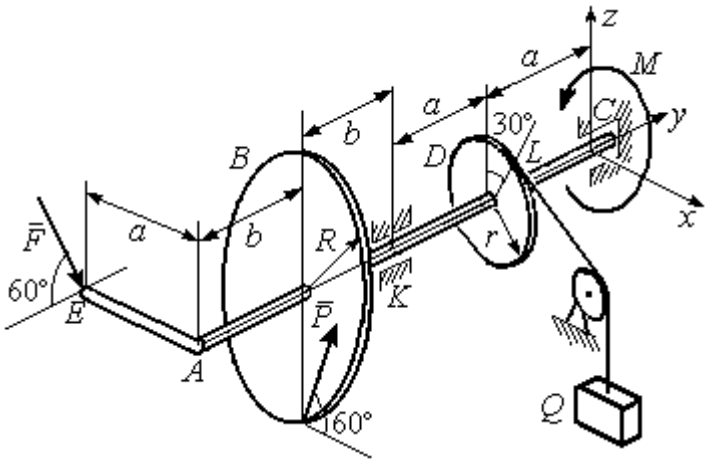


Рис. 1 39. Равновесие вала

На вал действуют силы: $\vec{F}$, $\vec{P}$ и пара сил с моментом *M*. Сила $\vec{F}$ находится в плоскости, параллельной *zCy*, и составляет угол 60° с направлением оси *Cy*. Сила $\vec{P}$ приложена в нижней точке шкива *B*, параллельна плоскости *zCx* и составляет угол 60° с направлением оси *Cx*. Определить вес удерживаемого груза Q и реакции подшипника и подпятника, если P = 4 кН; F = 2 кН; M = 3 кН·м; R = 0,6 м; r = 0,3 м; a = 0,8 м; b = 0,4 м.

Решение

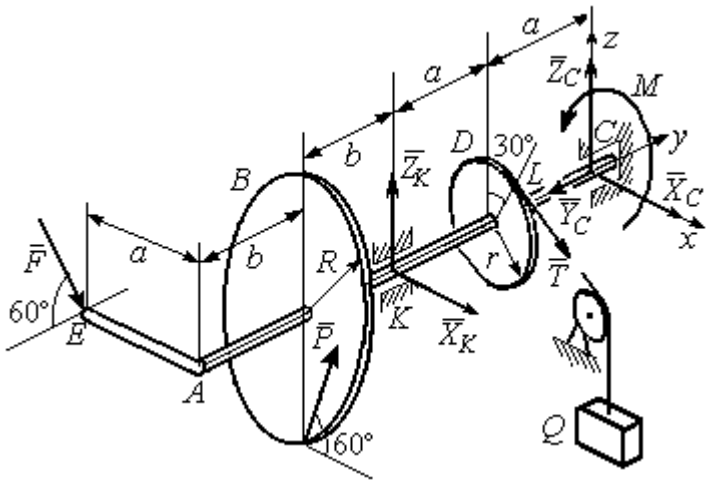


Рис. 1.40. Активные силы и реакции связей, действующие на вал, при его равновесии

Рассмотрим равновесие вала. На вал действуют активные силы $\vec{F}$, $\vec{P}$, пара с моментом *M* и реакции связей. Связями являются нить, натянутая грузом Q, подпятник *C* и подшипник *K*. Освобождаем вал от связей, заменяя их действие реакциями. Реакцию $\vec{R}_C$ подпятника *C* раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_C$, $\vec{Y}_C$, $\vec{Z}_C$, направленные вдоль координатных осей (рис. 1.40). Реакция $\vec{R}_K$ подшипника *K* лежит в плоскости, перпендикулярной оси вала, и ее составляющими будут вектора

$\vec{X}_K, \vec{Z}_K$, направленные вдоль координатных осей *x*, *z*. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити от точки *L* и по модулю равна весу груза *Q*.

Активные силы и реакции связей составляют произвольную пространственную уравновешенную систему сил. При составлении уравнений равновесия изобразим вал вместе с действующими на него силами в проекциях на координатные плоскости (рис. 1.41).

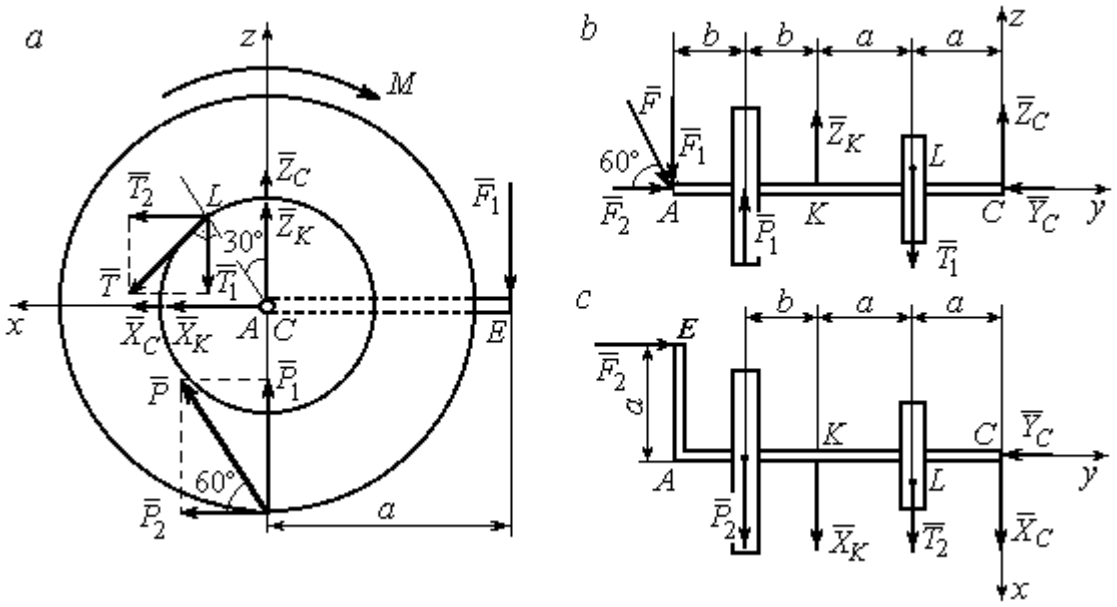


Рис. 1.41. Вал и действующие на него силы в проекциях на координатные плоскости:
a – вид вала в проекции на плоскость *zCx* с положительного конца оси *y*;
b – вид вала в проекции на плоскость *zCy* с положительного конца оси *x*;
c – вид вала в проекции на плоскость *xCy* с положительного конца оси *z*

На рис. 1.41, *a* показаны проекции вала и всех сил на плоскость *zCx*. Вычисляя моменты проекций сил относительно точки *C*, получим значения моментов этих сил относительно оси *y*. При вычислении моментов сил относительно оси *x* достаточно вычислить моменты проекций сил на плоскость *zCy* относительно точки *C* (рис. 1.41, *b*), а вычисляя моменты проекций сил на плоскость *xCy* относительно точки *C*, получим значения моментов сил относительно оси *z* (рис. 1.41, *c*).

Величины проекций сил определяются равенствами: $P_1 = P\cos 30^\circ$; $P_2 = P\cos 60^\circ$; $T_1 = T\cos 60^\circ$; $T_2 = T\cos 30^\circ$; $F_1 = F\cos 30^\circ$; $F_2 = F\cos 60^\circ$.

Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = P\cos 60^\circ + X_K + T\cos 30^\circ + X_C = 0;\ \sum F_{ky} = F\cos 60^\circ - Y_C = 0;$$

$$\sum F_{kz} = P\cos 30^\circ + Z_K - T\cos 60^\circ + Z_C - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = T\cos 60^\circ \cdot a - Z_K \cdot 2a - P\cos 30^\circ \cdot (2a + b) +$$

$$+ F\cos 30^\circ \cdot (2a + 2b) = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = -F\cos 30^\circ \cdot a - P\cos 60^\circ \cdot R + T \cdot r - M = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = T\cos 30^\circ \cdot a + X_K \cdot 2a + P\cos 60^\circ \cdot (2a + b) - F\cos 60^\circ \cdot a = 0.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим систему шести уравнений с шестью неизвестными, решая которую, найдём:

$$X_C = -8{,}09 \text{ кН},\ Y_C = 1 \text{ кН},\ Z_C = 4{,}65 \text{ кН},\ Z_K = 2{,}92 \text{ кН};$$

$$X_K = -10{,}02 \text{ кН},\ T = 18{,}6 \text{ кН}.$$

Реакции подпятника и подшипника:

$$R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2 + Z_C^2} = 9{,}4 \text{ кН},\ R_K = \sqrt{X_K^2 + Z_K^2} = 10{,}44 \text{ кН}.$$

Вес удерживаемого груза Q равен реакции нити T.

Задача 14. Однородная прямоугольная плита (рис. 1.42) веса 25 кН прикреплена к полу при помощи шарового шарнира A, подшипника B и удерживается в вертикальном положении стержнем CO, лежащим в плоскости, перпендикулярной плоскости плиты так, что $\angle COB = 60^\circ$. В плоскости плиты на неё действуют пара сил с моментом $M = 6$ кН·м, сила $\vec{F}_1$, равная $F_1 = 10$ кН, приложенная на верхней стороне плиты в точке H под углом 30° к линии EC, и сила $\vec{F}_2$, равная $F_2 = 5$ кН, приложенная в точке D параллельно стороне AB. В точке E к плите прикреплён трос, на другом конце которого, перекинутым через блок K, подвешен груз весом $Q = 20$ кН. Отрезок троса EK перпендикулярен плоскости плиты.

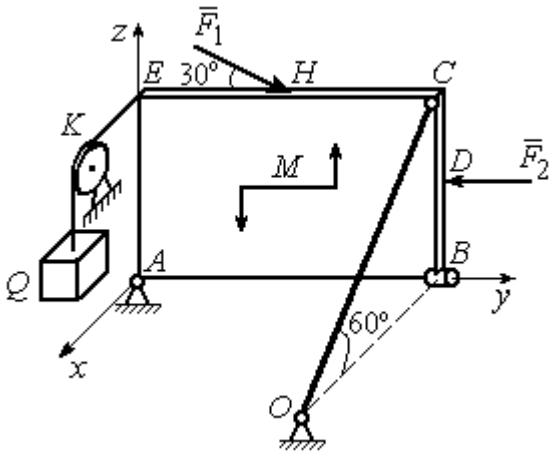


Рис. 1.42. Равновесие плиты

Определить реакции шарнира *A*, подшипника *B* и реакцию стержня *CO*, если ширина плиты *AB* = 3 м; высота *AE* = 2 м; *EH* = *HC*, *CD* = *DB*.

Решение

Рассмотрим равновесие плиты *ABCE*. На плиту действуют активные силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, сила тяжести плиты $\vec{P}$, пара сил с моментом *M* и реакции связей. Связями являются пространственный шарнир *A*, нить, натянутая грузом Q, подшипник *B* и невесомый стержень *CO*.

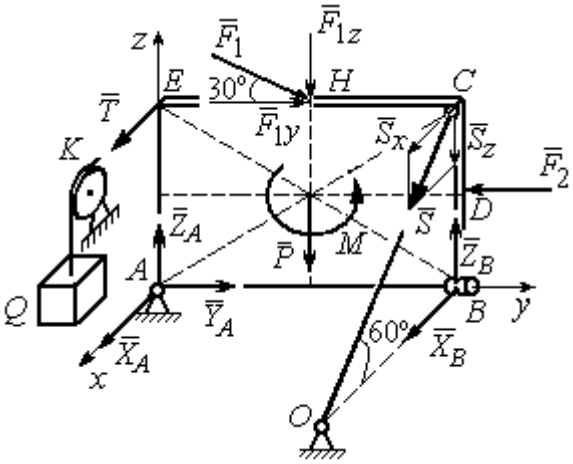


Рис. 1.43. Силы, действующие на плиту, при её равновесии

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.43. Освобождаем плиту от связей, заменяя их действие реакциями. Реакцию $\vec{R}_A$ шарнира *A* раскладываем на три составляющие: $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, $\vec{Z}_A$, направленные вдоль координатных осей. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити параллельно оси *Ax* и равна весу груза $T = Q$, реакция $\vec{R}_B$ подшипника *B* расположена в плоскости, перпендикулярной оси *Ay*, и представлена в виде двух своих составляющих $\vec{X}_B$, $\vec{Z}_B$, реакция $\vec{S}$ невесомого стержня *CO* направлена вдоль стержня. Направления активных сил и реакций связей показаны на рис. 1.43.

Силы, действующие на плиту, и реакции связей составляют пространственную уравновешенную систему сил. Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A + T + X_B + S\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - F_2 + F_1\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = Z_A - F_1\cos 60^\circ - P + Z_B - S\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = -F_1\cos 60^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB - F_1\cos 30^\circ \cdot AE - P \cdot 0{,}5 \cdot AB +$$

$$+ F_2 \cdot BD + Z_B \cdot AB - S\cos 30^\circ \cdot AB + M = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = T \cdot AE + S\cos 60^\circ \cdot CB = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = -X_B \cdot AB + S\cos 60^\circ \cdot EC = 0.$$

Подставляя исходные данные задачи, получим систему уравнений, решая которую, найдём значения реакций: S = – 40 кН; X_B = – 20 кН; Z_B = – 17,53 кН; X_A = 20 кН; Y_A = – 3, 66 кН; Z_A = 12,89 кН.

Задача 15. Прямоугольная фрамуга *ACEB* весом P = 50 Н, закрепленная в точках A и B цилиндрическими шарнирами, открыта на угол 60º (рис. 1.44). На фрамуге в точке H закреплена верёвка, другой конец которой, переброшенный через невесомый блок K, несёт груз Q. При этом линия верёвки HK параллельна прямой ED. На фрамугу действует сила $\vec{F}$, приложенная в верхнем углу в точке C перпендикулярно плоскости фрамуги и равная по величине F = 15 Н.

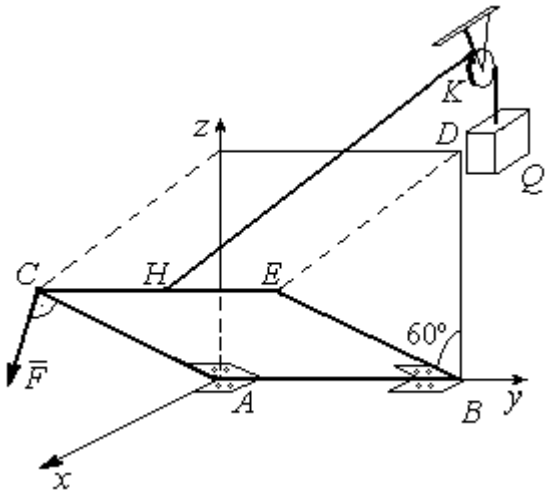


Рис. 1.44. Равновесие фрамуги

Определить вес груза Q, необходимый для удержания фрамуги в равновесии и реакции цилиндрических шарниров A и B, если размеры фрамуги $BE = BD$ = 2 м; AB = 3 м; $CH = HE$.

Решение

Рассмотрим равновесие фрамуги *ABCE*. Изображаем внешние активные силы: силу $\vec{F}$, силу тяжести фрамуги $\vec{P}$, а также реакции связей. Связями являются два цилиндрических шарнира *A* и *B* (связь, аналогичная подшипнику) и нить, натянутая грузом Q. Выберем систему координат *Axyz*, как показано на рис. 1.45. Освобождаем фрамугу от связей, заменяя их действие реакциями. Реакции $\vec{R}_A$ и $\vec{R}_B$ шарниров *A* и *B* раскладываем на взаимно перпендикулярные составляющие: $\vec{X}_A$, $\vec{Z}_A$ и $\vec{X}_B$, $\vec{Z}_B$ в плоскостях, перпендикулярных оси вращения фрамуги (ось *Ay*), реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити и равна весу груза $T = Q$. Направления активных сил и реакций связей показаны на рис. 1.45.

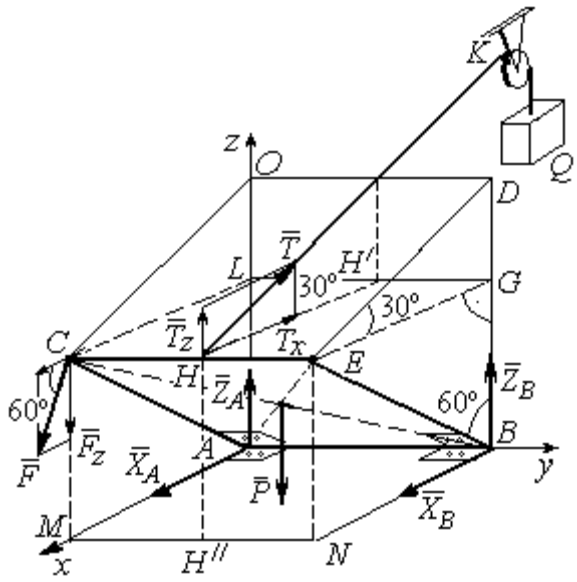


Рис. 1.45. Активные силы и реакции при равновесии фрамуги

Силы, действующие на фрамугу, составляют уравновешенную пространственную систему сил.

Составим уравнения равновесия. При этом для удобства вычисления моментов сил относительно осей изобразим плоскости, перпендикулярные этим осям, с проекциями на них сил, действующих на фрамугу (рис. 1.46). Тогда моменты сил, действующих на фрамугу, например, относительно оси *Ax* определяются как моменты векторов проекций этих сил на плоскость *zAy* относительно точки *A* – пересечения оси *Ax* и перпендикулярной ей плоскости *zAy* (см. рис. 1.46, *a*). Аналогично при вычислении моментов сил относительно оси *Az* достаточно вычислить моменты векторов проекций сил на плоскость *xAy* относительно точки *A* (см. рис. 1.46, *b*).

Значения моментов сил относительно оси *Ay* получим, вычисляя моменты векторов проекций сил на плоскость *zAx* относительно точки *A* (см. рис. 1.46, *c*).

Уравнения равновесия фрамуги имеют вид:

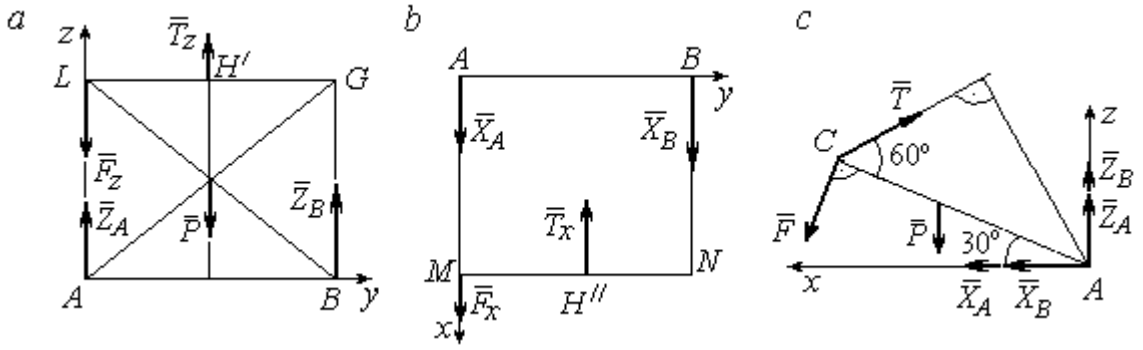


Рис. 1.46. Фрамуга и действующие на неё силы в проекциях на координатные плоскости:
a – проекция на плоскость *zAy* со стороны положительного направления оси *x*; *b* – проекция на плоскость *xAy* со стороны положительного направления оси *z*; *c* – проекция на плоскость *zAx* со стороны положительного направления оси *y*

$$X_A + X_B + F\cos 60^\circ - T\cos 30^\circ = 0;$$

$$Z_A + Z_B - P - F\cos 30^\circ + T\cos 60^\circ = 0;$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = T_z \cdot 0{,}5 \cdot AB - P \cdot 0{,}5 \cdot AB + Z_B \cdot AB = =$$

$$T\cos 60^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB - P \cdot 0{,}5 \cdot AB + Z_B \cdot AB = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = P \cdot 0{,}5 \cdot AC\cos 30^\circ + F \cdot AC - T \cdot AC\sin 60^\circ = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = -X_B \cdot AB + T_x \cdot 0{,}5 \cdot AB = -X_B \cdot AB + T\cos 30^\circ \cdot 0{,}5 \cdot AB = 0.$$

Подставляя исходные данные из условия задачи и решая систему, найдём реакции шарниров фрамуги:

$$X_B = 18{,}22 \text{ Н},\ Z_B = 14{,}41 \text{ Н},\ R_B = \sqrt{X_B^2 + Z_B^2} = 23{,}31 \text{ Н};$$

$$X_A = 10{,}83 \text{ Н},\ Z_A = 27{,}41 \text{ Н},\ R_A = \sqrt{X_A^2 + Z_A^2} = 29{,}47 \text{ Н}.$$

Вес груза, удерживающий фрамугу в равновесии, численно равен реакции верёвки: $Q = T = 42{,}37$ Н.

Задача 16. Горизонтальный коленчатый вал *AD* (рис. 1.47) закреплен в подпятнике *A* и подшипнике *C*. Вал имеет шкив радиуса r и рукоять *DH*, перпендикулярные оси вала. Рукоять *DH* образует угол 30º к направлению оси *Ax*. Колено вала расположено в горизонтальной плоскости *xAy*. Нить, удерживающая груз *Q*, намотана на шкив и сходит с него вертикально вниз. На вал действуют силы $\vec{F}, \vec{P}, \vec{G}$ и пара сил с моментом *M*. Сила $\vec{F}$ приложена в верхней точке вертикального диаметра шкива под углом 30° к направлению оси *Ay* и находится в плоскости z*Ay*. Сила $\vec{P}$ приложена в нижней точке *H* рукояти параллельно оси *Az*. Сила $\vec{G}$ приложена в крайней точке *K* стойки колена вала под углом 60º к стойке и находится в плоскости, перпендикулярной оси вала. Пара сил с моментом *M* создаёт вращение вала вокруг оси *Ay*.

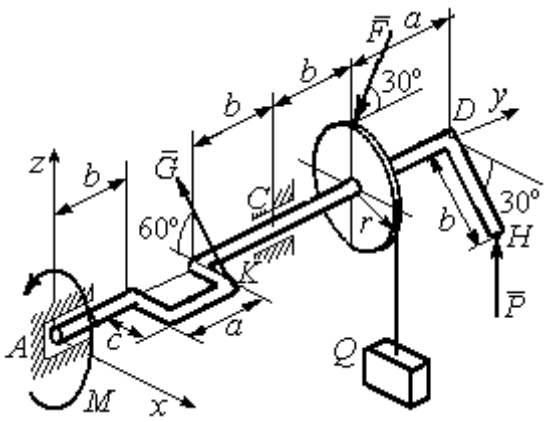


Рис. 1.47. Равновесие вала

Определить вес удерживаемого груза Q и реакции подшипника и подпятника, если: P = 10 кН; F = 12 кН; G = 6 кН; M = 3 кН·м; r = 0,3 м; a = 0,8 м; b = 0,4 м; c = 0,2 м.

Решение

Рассмотрим равновесие вала. На вал действуют активные силы – $\vec{F}$, $\vec{P}$, $\vec{G}$, пара сил с моментом *M* и реакции связей. Связями являются нить, натянутая грузом Q, подпятник *A* и подшипник *C*.

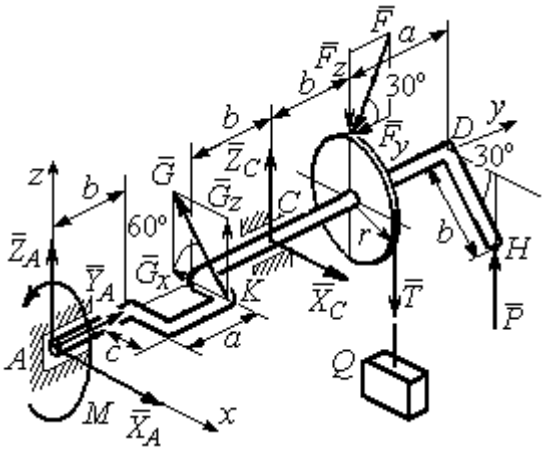


Рис. 1.48. Силы и реакции, действующие на вал при равновесии

Освобождаем вал от связей, заменяя их действие реакциями.

Реакцию подпятника A раскладываем на три составляю-щие: $\vec{X}_A$, $\vec{Y}_A$, $\vec{Z}_A$, направленные вдоль координатных осей. Реакция подшипника C лежит в плоскости, перпендикулярной оси вала, и также может быть разложена на составляющие $\vec{X}_C$, $\vec{Z}_C$, направленные вдоль координатных осей *Ax*, *Az*. Реакция нити $\vec{T}$ направлена вдоль нити и по модулю равна весу груза, $T = Q$. Действие на вал активных сил и реакций связи показано на рис. 1.48.

Указанные силы составляют произвольную пространственную уравновешенную систему сил.

Составим уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = X_A - G\cos 60^\circ + X_C = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_A - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{kz} = Z_A + G\cos 30^\circ + Z_C - F\cos 60^\circ - T + P = 0.$$

$$\sum M_x(\vec{F}_k) = G_z(b+a) + Z_C(b+a+b) - F_z(b+a+b+b) + F_y r -$$

$$-T(b+a+b+b) + P(b+a+b+b+a) = 0;$$

$$\sum M_y(\vec{F}_k) = -G_z c + Tr - Pb\cos 30^\circ - M = 0;$$

$$\sum M_z(\vec{F}_k) = G_x(b+a) - X_C(b+a+b) = 0,$$

где значения проекций сил на оси $G_z = G\cos 30^\circ$; $G_x = G\cos 60^\circ$; $F_z = F\cos 60^\circ$; $F_y = F\cos 30^\circ$.

Подставляя исходные данные и решая систему, получим значения реакций:

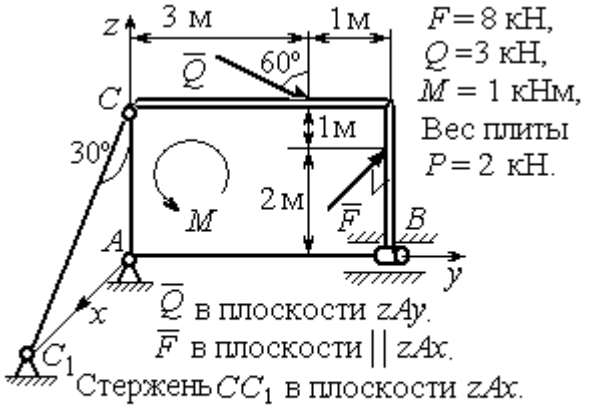
$$X_C = 2{,}25 \text{ кН};\ Z_C = 13{,}57 \text{ кН};\ R_C = \sqrt{X_C^2 + Z_C^2} = 15{,}58 \text{ кН};$$

$$Z_A = 0{,}39 \text{ кН};\ Y_A = 10{,}39 \text{ кН};\ X_A = 0{,}75 \text{ кН};\ R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2} = 10{,}42 \text{ кН}.$$

Вес удерживаемого груза равен реакции нити $Q = T = 25{,}03$ кН.

Упражнения

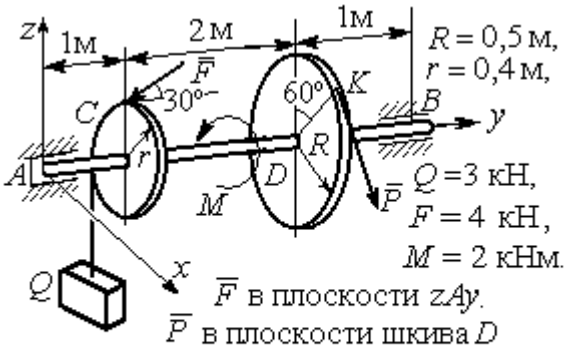
Упражнение 1.9



$F = 8$ кН,
$Q = 3$ кН,
$M = 1$ кНм,
Вес плиты
$P = 2$ кН.

$\overline{Q}$ в плоскости zAy.
$\overline{F}$ в плоскости $\| zAx$.
Стержень CC_1 в плоскости zAx.
Найти реакцию шарнира A, реакцию подшипника B и реакцию стержня CC_1

Упражнение 1.10



$R = 0{,}5$ м,
$r = 0{,}4$ м,
$Q = 3$ кН,
$F = 4$ кН,
$M = 2$ кНм.

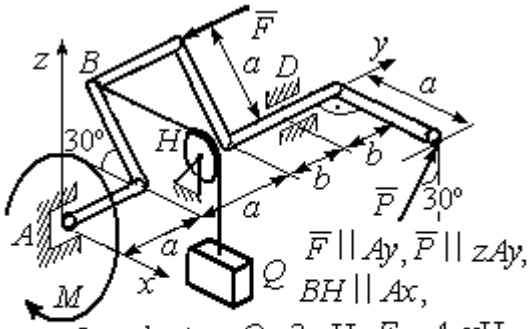
$\overline{F}$ в плоскости zAy.
$\overline{P}$ в плоскости шкива D
и направлена по касательной в точке K.
Найти реакцию подпятника A, подшипника B и уравновешивающую силу P

Упражнение 1.11



$\overline{P}$ направлена по касат. к шкиву в точке K.
$\overline{F}$ в плос-ти zAy.
Нить сходит со шкива $\|$ оси Ay.
$a = 1$ м, $b = 2$ м,
$R = 0{,}5$ м, $r = 0{,}4$ м,
$Q = 3$ кН, $F = 4$ кН,
$M = 2$ кНм.
Найти реакцию Q подпятника A, подшипника B и уравновешивающую силу P

Упражнение 1.12



$\overline{F} \| Ay$, $\overline{P} \| zAy$,
$BH \| Ax$,
$a = 2$м, $b = 1$м, $Q = 3$ кН, $F = 4$ кН,
$M = 2$ кНм. Найти реакцию подпятника A, подшипника D и уравновешивающую силу P

Рис. 1.49. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 1.9 – 1.12

1.6. Равновесие тел при наличии сил трения

Трение скольжения. При наличии трения скольжения полная реакция $\vec{R}$ шероховатой опоры раскладывается на нормальную составляющую $\vec{N}$ опоры и силу $\vec{F}_{\text{тр с}}$ трения скольжения, направленную по касательной к поверхности в точке опоры.

В покое сила трения скольжения может принимать любые значения от нуля до некоторого предельного значения $F_{\text{тр с}}$, называемого **предельной силой трения скольжения** (рис. 1.50).

Наибольший угол φ_0, который полная реакция шероховатой поверхности образует с нормалью к поверхности, называется **предельным углом трения**. Предельная сила трения численно равна произведению коэффициента трения на величину нормальной реакции опоры тела на поверхность: $F_{\text{тр с}} = f \cdot N$, где f – безразмерный коэффициент трения, определяемый экспериментально.

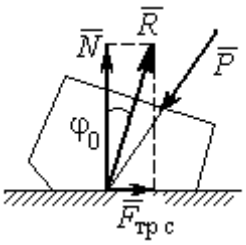


Рис. 1.50. Реакция опоры с трением скольжения

Изучение равновесия тел с учетом сил трения сводится к рассмотрению предельного равновесия, когда сила трения принимает предельное значение.

Трением качения называется сопротивление, возникающее при качении одного тела по шероховатой поверхности другого. Реакция шероховатой опоры раскладывается на нормальную составляющую $\vec{N}$ и силу трения качения $\vec{F}_{\text{тр к}}$, направленную по касательной к поверхности качения. При этом за счёт небольшого вдавливания в поверхность качения нормальная реакция опоры $\vec{N}$ смещена в сторону от линии действия силы тяжести $\vec{P}$ так, что вместе с ней образует пару, противодействующую качению (рис. 1.51). В предельном положении равновесия тела смещение нормальной реакции опоры максимально.

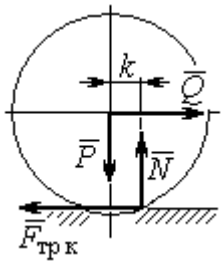


Рис. 1.51. Реакция опоры с трением качения

Величина максимального смещения k называется **коэффициентом трения качения**, измеряемого в единицах длины. Момент, создаваемый парой $(\vec{N}, \vec{P})$, называется **моментом трения качения** $M_{\text{тр к}} = kN$. Максимальная сила трения качения $\vec{F}_{\text{тр к}}$ определяется из условия, что в предельном

положении равновесия момент трения качения равен моменту качения, создаваемого парой ($\vec{F}_{\text{тр к}}, \vec{Q}$) (рис. 1.51).

Если максимальная сила трения качения меньше предельной силы трения скольжения, движение представляет качение без скольжения.

Примеры решения задач на равновесие тел с трением

Задача 17. Груз Q весом 50 Н удерживается нитью на шероховатой наклонной плоскости (рис.1.52). Один конец нити закреплен на грузе Q, а к другому, перекинутому через невесомый блок, подвешен груз весом P. Отрезок нити AB горизонтальный. Угол наклона плоскости составляет 30º к горизонту. Определить максимальное и минимальное значения веса груза P, при которых груз Q может начать скольжение по плоскости без опрокидывания, если коэффициент трения скольжения между грузом Q и наклонной плоскостью $f = 0{,}4$.

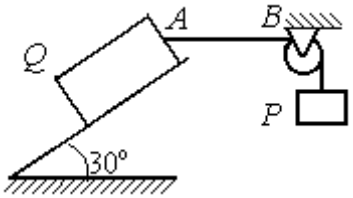


Рис.1.52. Равновесие груза на наклонной плоскости с трением

Решение

Рассмотрим равновесие груза Q при минимальном значении веса груза P. На груз действуют сила тяжести $\vec{Q}$, реакция нити $\vec{T}_{\min}$ и реакция шероховатой поверхности наклонной плоскости, состоящая из нормальной реакции наклонной плоскости $\vec{N}$ и силы трения $\vec{F}_{\text{тр1}}$ (рис. 1.53, *а*). Особенностью задач на равновесие призм является то, что точка приложения нормальной реакции не определена. В случае необходимости она находится из уравнений равновесия.

Определим направление силы трения. Если вес уравновешивающего груза P имеет минимальное значение $P_{\min}$, то при его дальнейшем уменьшении груз Q начнёт двигаться вниз по наклонной плоскости. Таким образом, предельная сила трения $\vec{F}_{\text{тр}1}$, обеспечивающая равновесие при минимальном значении веса груза P, направлена вверх по наклонной плоскости (см. рис. 1.53, *a*).

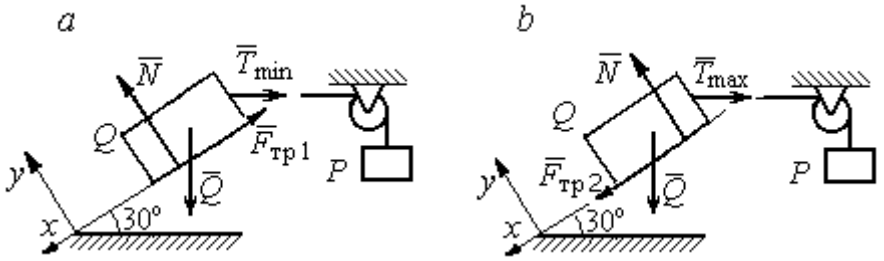


Рис. 1.53. Силы, действующие на груз при равновесии:
a – минимальный вес уравновешивающего груза;
b – максимальный вес уравновешивающего груза

Выберем систему координат, как показано на рис. 1.53, и составим уравнения равновесия в виде проекций сил:

$$\sum F_{kx} = Q\cos 60^\circ - T_{\min}\cos 30^\circ - F_{\text{тр}} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -Q\cos 30^\circ + N - T_{\min}\cos 60^\circ = 0.$$

Полагая в первом уравнении $F_{\text{тр}1} = f N$, решаем систему и находим реакцию нити $T_{\min} = 7{,}21$ Н. Минимальное значение веса уравновешивающего груза равно реакции нити: $P_{\min} = T_{\min} = 7{,}21$ Н.

Рассмотрим равновесие груза Q при максимальном $P_{\max}$ значении веса груза P. На груз действует сила тяжести $\vec{Q}$, реакция нити $\vec{T}_{\max}$ и реакция шероховатой поверхности наклонной плоскости, состоящая, как и в первом случае, из нормальной реакции наклонной плоскости $\vec{N}$ и силы трения $\vec{F}_{\text{тр}2}$ (см. рис. 1.53, *b*).

При определении направления силы трения заметим, что увеличение веса груза P больше максимального вызывает движение груза Q вверх по наклонной

плоскости. Тогда предельная сила трения $\vec{F}_{\text{тр}2}$, действующая против возможного движения, должна быть направлена вниз по наклонной плоскости (см. рис. 1.53, *b*). Уравнения равновесия груза *Q*:

$$\sum F_{kx} = Q\cos 60^\circ - T_{\max}\cos 30^\circ + F_{\text{тр}2} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -Q\cos 30^\circ + N - T_{\max}\cos 60^\circ = 0.$$

Решаем систему, подставляя вместо силы трения её значение $F_{\text{тр}2} = fN$, и находим максимальное значение веса груза *P*: $P_{\max} = T_{\max}$ = 63,54 Н.

Таким образом, груз *Q* будет находиться в равновесии на наклонной плоскости, если вес уравновешивающего груза находится в пределах 8,87 < *P* < 48,87 Н.

Задача 18. Цилиндрический каток радиуса *r* = 0,5 м, весом *P* = 50 Н удерживается в равновесии на наклонной плоскости нитью, один конец которой закреплён в центре катка, а другой перекинут через блок и несёт груз весом *Q* (рис. 1.54). Коэффициент трения качения катка $f_{\text{к}}$ = 0,02 м. Наклонная плоскость составляет угол 30º с горизонтом.

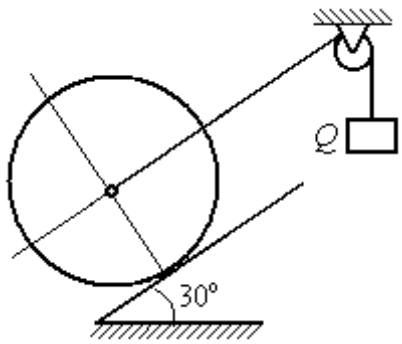


Рис. 1.54. Равновесие катка

Определить наименьшую и наибольшую величину веса *Q*, при которых каток будет в равновесии. Найти наименьшее значение коэффициента трения скольжения $f_{\text{с}}$, при котором в случае движения каток будет катиться без скольжения.

Решение

Рассмотрим равновесие катка при минимальном значении веса груза *Q* . На каток действует сила тяжести $\vec{P}$, реакции нити $\vec{Q}_{\min}$ и реакция шероховатой поверхности наклонной плоскости $\vec{R}$, имеющая своими составляющими нормальную реакцию поверхности $\vec{N}$ и силу трения качения $\vec{F}_{\text{тр1к}}$ (рис. 1.55, *a*).

Минимальный вес груза $Q_{\min}$ удерживает каток от качения вниз по наклонной плоскости. В этом случае составляющие реакции шероховатой поверхности наклонной плоскости приложены в точке K_1, слева от нормального к плоскости диаметра катка (см. рис. 1.55, *a*). Выбор точки приложения реакции шероховатой поверхности основан на том, что пара ($\vec{N}$, $\vec{P}_y$) должна создавать момент трения качения, противодействующий предполагаемому движению.

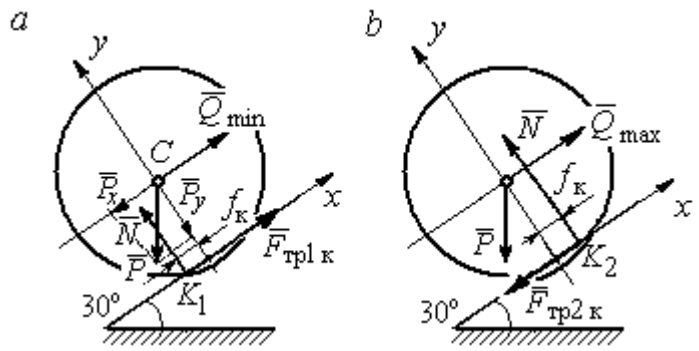


Рис. 1.55. Силы, действующие на каток, при равновесии:
a – минимальный вес груза; *b* – максимальный вес груза

На каток действует плоская уравновешенная система сил ($\vec{Q}_{\min}$, $\vec{F}_{тр1\,к}$, $\vec{N}$, $\vec{P}$) ∞ 0. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.55, *a*, и составим уравнения равновесия катка, где уравнение моментов сил составлено относительно точки K_1:

$$\sum F_{kx} = -P\cos 60^\circ + Q_{\min} + F_{тр1к} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = = -P\cos 30^\circ + N = 0;$$

$$\sum M_{K_1}(\vec{F}_k) = P\cos 60^\circ \cdot r - Q_{\min} r - P\cos 30^\circ \cdot f_к = 0.$$

Подставляем данные задачи и находим минимальное значение веса груза, при котором каток находится в равновесии $Q_{\min}$ = 7,68 Н, величину нормальной реакции наклонной плоскости N = 43,3 Н и значение силы трения качения, удерживающей каток в равновесии, $F_{тр1к}$ = 17,32 Н.

Рассмотрим равновесие катка при максимальном значении веса груза $Q_{\max}$. Здесь нарушение предельного равновесия при увеличении веса груза Q вызывает движение катка вверх по наклонной плоскости. В таком случае точка

приложения реакции опоры шероховатой поверхности (точка K_2) расположена справа от нормального к плоскости качения диаметра катка (рис. 1.55, *b*).

На каток действует плоская уравновешенная система сил ($\vec{Q}_{\max}$, $\vec{F}_{\text{тр2 к}}$, $\vec{N}$, $\vec{P}$) ∞ 0. Выберем систему координат, как показано на рис. 1.55, *b*. Уравнения равновесия катка, где уравнение моментов сил составлено относительно точки K_2 имеют вид:

$$\sum F_{kx} = -P\cos 60^\circ + Q_{\max} - F_{\text{тр2 к}} = 0;$$

$$\sum F_{ky} = -P\cos 30^\circ + N = 0;$$

$$\sum M_{K_2}(\vec{F}_k) = -P\cos 60^\circ \cdot r + Q_{\max} r - P\cos 30^\circ \cdot f_{\text{к}} = 0.$$

Решая систему, получим: $Q_{\max} = 42{,}32$ Н; $N = 43{,}3$ Н; $F_{\text{тр2 к}} = 17{,}32$ Н.

Таким образом, на шероховатой поверхности каток находится в равновесии, если вес уравновешивающего груза выбран в пределах $7{,}68 \le Q \le 42{,}32$ Н.

При любом движении (вверх или вниз) качение катка будет без скольжения, если предельная сила трения скольжения $F_{\text{тр с}}$ больше аналогичной силы трения качения: $F_{\text{тр с}} > F_{\text{тр к}}$. Величина силы трения скольжения не зависит от направления движения: $F_{\text{тр с}} = f_{\text{с}} N = 43{,}3 f_{\text{с}}$, где $f_{\text{с}}$ – коэффициент трения скольжения. Величина силы трения качения также не зависит от направления движения: $F_{\text{тр к}} = F_{\text{тр1 к}} = F_{\text{тр2 к}} = 17{,}32$ Н. Таким образом, для определения требуемого коэффициента скольжения имеет место неравенство $43{,}3 f > 17{,}32$, откуда $f > 0{,}4$.

Задача 19. Для подъёма и опускания грузов в выработках используется ступенчатый ворот с тормозом, изображённый на рис. 1.56. Радиусы большой и малой ступенек барабана ворота R = 0,5 м и r = 0,2 м. Ворот тормозят, надавливая на конец A рычага AB, соединённого цепью CD с концом D тормозного рычага ED с расположенной на нём тормозной колодкой. Коэффициент трения между тормозной колодкой и барабаном ворота f = 0,4. На малой ступеньке барабана ворота навита верёвка, другой конец которой, переброшенный через невесомые неподвижный блок m и подвижный блок n, удерживает груз Q весом 1 кН (см. рис. 1.56). Угол наклона к горизонту участка верёвки, соединяющей барабан с неподвижным блоком m, составляет 30°.

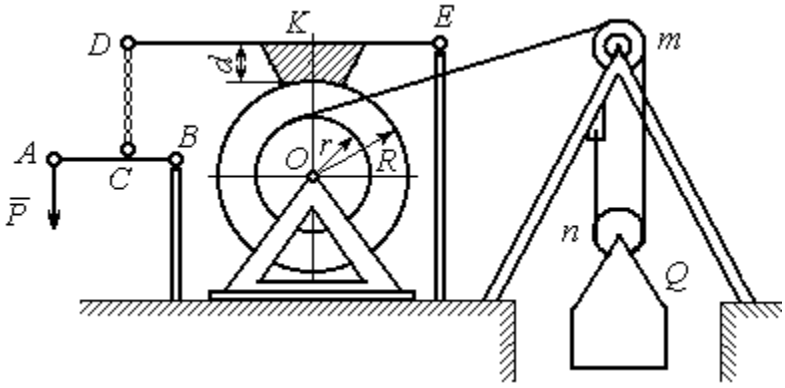


Рис. 1.56. Ворот с колодочным тормозом

Определить величину силы $\vec{P}$, уравновешивающей груз Q, и реакции шарниров O и E, если вес ворота G = 140 Н, высота тормозной колодки d = 0,1 м, расстояния AB = 1 м, BC = 0,1 м; ED = 1,2 м; EK = 0,6 м.

Решение

Рассмотрим отдельно равновесие барабана ворота, тормозного рычага DE и рычага AB (рис. 1.57).

Для того; чтобы определить силу натяжения верёвки, прикреплённой к барабану, рассмотрим равновесие груза вместе с подвижным блоком n (см. рис. 1.57, *а*). На объект равновесия действует сила тяжести груза $\vec{Q}$ и реакции $\vec{T}'$ и $\vec{T}''$ двух ветвей верёвки, огибающей снизу блок n.

Уравнения равновесия такой системы сил:

$$T' + T'' - Q = 0; \qquad T''r_{\text{бл}} = T'r_{\text{бл}},$$

где моменты сил вычислены относительно центра блока; $r_{бл}$ – радиус блока *n*. Решая систему уравнений, получим: $T' = T'' = 0{,}5Q = 500$ Н.

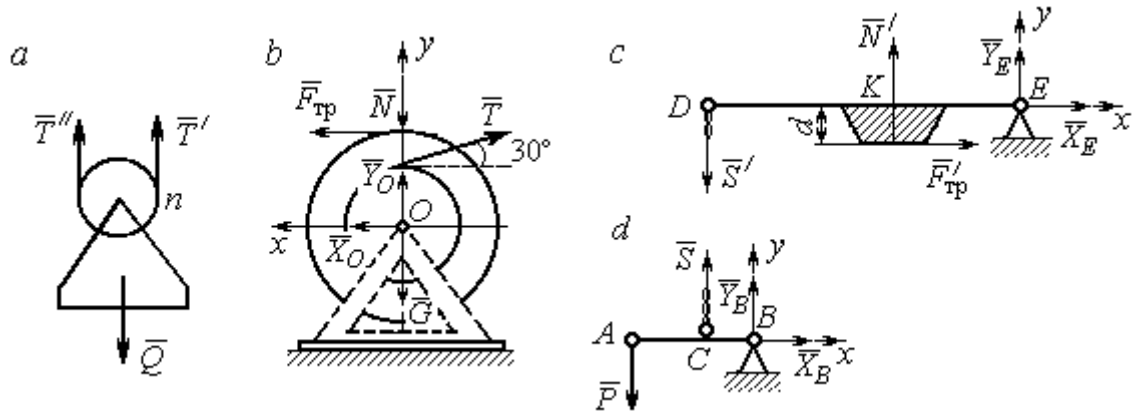


Рис. 1.57. Равновесие элементов конструкции ворота:
a – равновесие груза; *b* – силы, действующие на барабан; *c* – силы, действующие на тормозной рычаг *DE*; *d* – силы, действующие на рычаг *AB*

Рассмотрим равновесие барабана. На барабан действуют: сила веса барабана $\vec{G}$, сила давления $\vec{N}$ со стороны рычага, направленная по радиусу барабана, сила трения $\vec{F}_{тр}$, действующая по касательной к барабану в сторону, противоположную движению барабана при опускании груза, реакция $\vec{R}_O$ шарнира *O*, представленная двумя составляющими $\vec{X}_O, \vec{Y}_O$, и реакция верёвки $\vec{T}$, численно равная модулю силы $\vec{T}'$ (см. рис. 1.57, *b*).

Силы, действующие на барабан, составляют уравновешенную произвольную плоскую систему сил ($\vec{G}$, $\vec{X}_O, \vec{Y}_O, \vec{T}, \vec{N}$, $\vec{F}_{тр}$) ~ 0. Составим уравнение моментов относительно точки *O*:

$$-Tr + F_{тр}R = 0,$$ откуда с учётом $T = T'$ $F_{тр} = 200$ Н.

Величина силы $\vec{N}$ давления рычага на барабан находится из вида зависимости силы трения $F_{тр} = f N$, тогда $N = \dfrac{F_{тр}}{f} = 500$ Н.

Составим уравнения равновесия барабана в виде проекций сил на оси, выбранные, как показано на рис. 1.57, *b*:

$$\sum F_{kx} = X_O + F_{тр} - T\cos 30^\circ = 0;$$

$$\sum F_{ky} = Y_O + T\cos 60^\circ - N - G = 0.$$

Решая систему, найдём реакцию шарнира *O*:

$$X_O = 233 \text{ Н};\ Y_O = 390 \text{ Н};\ R_O = \sqrt{X_O^2 + Y_O^2} = 454{,}3 \text{ Н}.$$

Рассмотрим теперь равновесие тормозного рычага *DE* (см. рис. 1.57, *c*).

На рычаг действуют сила $\vec{N}'$ давления со стороны барабана и сила трения $\vec{F}'_{\text{тр}}$, приложенные в точке касания тормозной колодки с барабаном, равные по величине и противоположные по направлению, соответственно, силам $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{тр}}$. Кроме того, в точке *D* на рычаг действует сила $\vec{S}'$, под действием которой рычаг прижимается к барабану, и реакция шарнира *E*, разложенная на составляющие $\vec{X}_E$, $\vec{Y}_E$ вдоль осей *x*, *y*. Уравнения равновесия рычага имеют вид:

$$\sum F_{kx} = X_E + F'_{\text{тр}} = 0; \quad \sum F_{ky} = Y_E + N' - S' = 0;$$

$$\sum M_E(\vec{F}_k) = S' \cdot DE - N' \cdot EK + F'_{\text{тр}} d = 0.$$

Подставляя в систему данные из условия задачи, с учётом найденных значений $F'_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} = 200$ Н, $N' = N = 500$ Н, определим усилие S', с которым тормозной рычаг прижимается к барабану, и реакцию шарнира *E*:

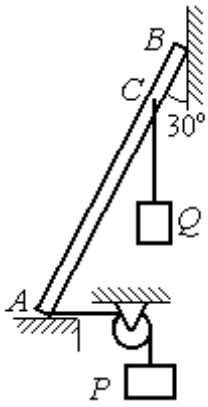
$$S' = 233{,}33 \text{ Н};\ X_E = -200 \text{ Н};\ Y_E = -266{,}67 \text{ Н};\ R_E = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2} = 333{,}34 \text{ Н}.$$

Силу $\vec{P}$, необходимую для уравновешивания груза *Q*, найдём рассматривая равновесие рычага *AB* (см. рис. 1.57, *d*) . На рычаг действуют сила $\vec{P}$, реакция цепи $\vec{S}$ и реакция шарнира *B*, показанная на рис. 1.57, *d* составляющими $\vec{X}_B$, $\vec{Y}_B$.

Составим уравнение равновесия рычага в форме равенства нулю суммы моментов сил относительно точки *B*: $P \cdot AB - S \cdot CB = 0$. С учётом того, что модули сил $\vec{S}$ и $\vec{S}'$ равны, найдем $P = 23{,}3$ Н.

Упражнения

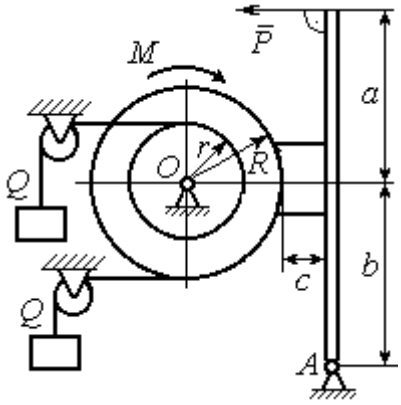
Упражнение 1.13



Невесомый стержень AB опирается в точках A и B на шероховатые поверхности – горизонтальный пол и вертикальную стену. Коэффициент трения между стержнем и полом и между стержнем и стеной $f = 0{,}2$. Угол наклона стержня к вертикальной стене 30°. В точке C к стержню подвешен груз Q. Стержень удерживается в равновесии горизонтальной нитью, прикреплённой в точке A и перекинутой через блок. К другому концу нити подвешен груз P. В каких границах можно изменять вес груза P, не нарушая равновесия стержня?

$AB = 3$ м, $AC = 2$ м, $Q = 200$ Н.

Упражнение 1.14



Шкив O состоит из двух барабанов радиусов R и r. На барабаны навиты верёвки, натянутые одинаковыми грузами Q. К шкиву приложена пара сил с моментом M. Шкив затормаживается с помощью рычажного тормоза. Коэффициент трения между тормозной колодкой и шкивом $f = 0{,}4$. Определить силу $\vec{P}$, приложенную к рычагу тормозной колодки и уравновешивающую шкив. Найти реакцию шарнира A.

$a = b = 1$ м; $c = 0{,}1$ м; $Q = 100$ Н; $M = 120$ Н·м;
$R = 0{,}6$ м; $r = 0{,}2$ м.

Рис. 1.58. Задания для самостоятельного решения. Упражнения № 1.13, 1.14

2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЁРДОГО ТЕЛА

2.1. Криволинейное движение точки

Кривая, которую описывает движущаяся точка, называется **траекторией** точки. Движение точки может быть задано **векторным**, **координатным** или **естественным** способами.

Координатный способ задания движения точки основан на том, что положение точки определяется ее координатами, заданными для каждого момента времени (рис. 2.1): $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$.

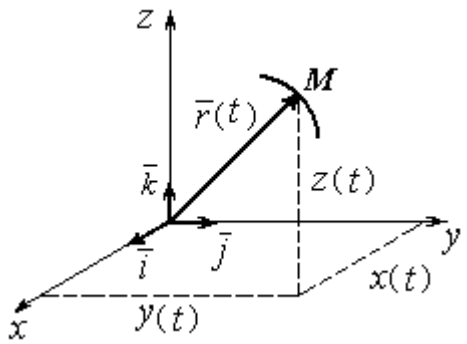


Рис. 2.1. Векторный и координатный способы задания движения точки

Мгновенная скорость, или скорость точки в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от радиус-вектора точки: $\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. **Вектор скорости точки $\vec{V}$ всегда направлен по касательной к траектории в сторону движения точки.** Величины V_x, V_y, V_z проекций вектора скорости $\vec{V}$ на координатные оси определяются как производные по времени от соответствующих координат: $V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$; $V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}$; $V_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$. Модуль вектора скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$.

Мгновенное ускорение точки**,** или ускорение в данный момент времени, является векторной величиной и определяется как производная по времени от вектора скорости точки или как вторая производная от радиус-вектора точки: $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$. Величины a_x, a_y, a_z проекций вектора ускорения на координатные оси определяются равенствами: $a_x = \frac{dV_x}{dt} = \dot{V}_x = \ddot{x}$;

$a_y = \frac{dV_y}{dt} = \dot{V}_y = \ddot{y}$; $a_z = \frac{dV_z}{dt} = \dot{V}_z = \ddot{z}$. Модуль вектора ускорения: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

Естественный способ задания движения используется, если траектория движения точки заранее известна. Тогда положение точки однозначно определяется длиной дуги $\breve{OM} = S(t)$, отсчитываемой от некоторой фиксированной точки *O*, принятой за начало отсчета (рис. 2.2). При этом заранее устанавливаются положительное и отрицательное направления отсчета дуговой координаты.

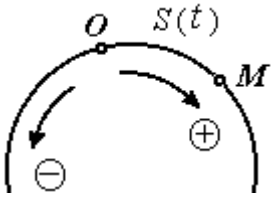


Рис. 2.2. Естественный способ задания движения точки

При естественном способе задания движения вектор скорости точки определяется равенством: $\vec{V} = \dot{S}\vec{\tau} = V_\tau \vec{\tau}$, где S – дуговая координата; $\vec{\tau}$ – единичный вектор касательной к траектории движения, направленный в сторону положительного направления дуговой координаты. Величина $V_\tau = \dot{S}$ называется алгебраической скоростью точки и представляет собой проекцию вектора скорости точки на касательную к траектории.

Вектор ускорения точки $\vec{a}$ раскладывается на составляющие по направлениям естественных осей – касательную (ось τ) и перпендикулярную к ней нормальную (ось *n*):

$$\vec{a} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n} \text{ или } \vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n,$$

где $\vec{\tau}$ – единичный направляющий вектор касательной; $\vec{n}$ – единичный направляющий вектор нормали траектории; a_τ – проекция ускорения точки на касательную называется **касательным ускорением**; a_n – проекция вектора ускорения точки на нормаль называется **нормальным ускорением** (рис. 2.3). Касательная составляющая ускорения характеризует изменение величины скорости точки, нормальная – изменение направления вектора скорости.

Если проекции V_τ и a_τ имеют одинаковые знаки (направлены в одну сторону), движение будет ускоренным, если разных знаков (разнонаправлены) – замедленным (см. рис. 2.3, *a*, *b*).

Проекции ускорения на естественные оси и модуль вектора ускорения вычисляются по формулам:

$$a_\tau = \ddot{S} = \dot{V}_\tau,\ a_n = \frac{V^2}{\rho};$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2},$$

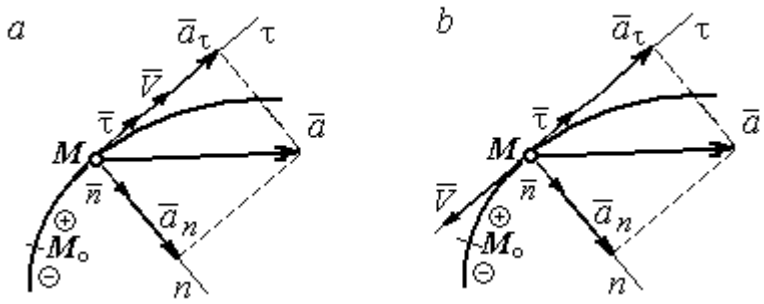


Рис. 2.3. Скорость и ускорение точки. Разложение ускорения на нормальную и касательную составляющие:
a – ускоренное движение; *b* – замедленное движение

где ρ – радиус кривизны траектории. Иногда при вычислении касательной составляющей ускорения удобнее пользоваться формулой $a_\tau = \dfrac{a_x V_x + a_y V_y}{V_\tau}$.

Вектор нормальной составляющей ускорения $\vec{a}_n$ всегда направлен к центру кривизны траектории. Вектор касательной составляющей ускорения $\vec{a}_\tau$ направлен в сторону положительного направления касательной (по направлению единичного вектора $\vec{\tau}$), если $\ddot{S} > 0$, и в противоположную сторону – при $\ddot{S} < 0$.

Криволинейное движение точки называется **равномерным**, если проекция вектора скорости на касательную – постоянная величина: V_τ = const.

Криволинейное движение точки называется **равнопеременным**, если постоянна проекция вектора ускорения на касательную: a_τ = const.

Примеры решения задач на криволинейное движение точки

Задача 20. Движение точки задано координатным способом уравнениями $x(t) = 2\sin\pi t$, $y(t) = \cos 2\pi t$, где *x*, *y* – в сантиметрах, *t* – в секундах.

Найти траекторию точки, величину и направление скорости и ускорения в моменты времени t_1 = 0,25 с, t_2 = 0,75 с. Определить участки ускоренного и замедленного движений точки.

Решение

Определяем траекторию точки. Из уравнений движения находим $y = \cos 2\pi t = \cos^2 \pi t - \sin^2 \pi t = 1 - 2\sin^2 \pi t = 1 - \frac{x^2}{2}$. Траекторией точки является парабола $y = 1 - \frac{x^2}{2}$ (рис. 2.4). Однако не вся парабола будет траекторией движения, а только та её часть, точки которой согласно уравнениям движения удовлетворяют неравенствам: $-2 \le x \le 2$, $-1 \le y \le 1$.

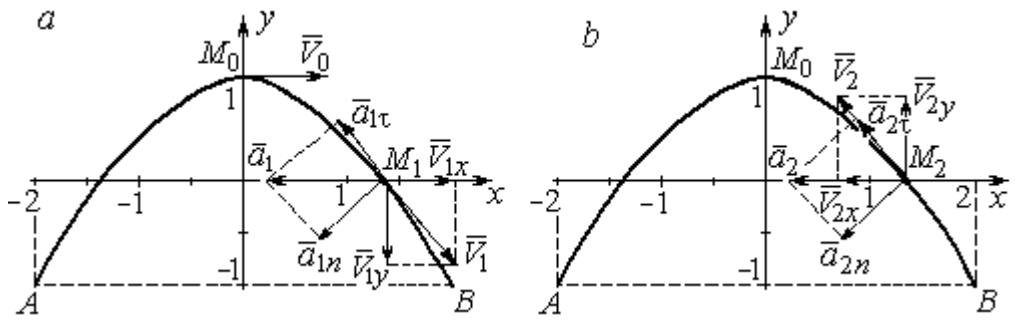


Рис. 2.4. Траектория движения точки:

a – замедленное движение точки на участке от M_0 к *B*;
b – ускоренное движение точки на участке от *B* к M_0

Определяем параметры движения точки в момент времени t_1 = 0,25 с.

Находим координаты x_1, y_1 положения точки M_1:

$$x_1 = x(0{,}25) = 2\sin\frac{\pi}{4} = \sqrt{2} \text{ см}, \quad y_1 = y(0{,}25) = \cos\frac{\pi}{2} = 0.$$

Находим проекции V_{1x}, V_{1y} вектора $\vec{V}_1$ скорости точки на оси системы координат:

$$V_x(t) = \dot{x} = 2\pi\cos\pi t; \; V_y(t) = \dot{y} = -2\pi\sin 2\pi t;$$

$$V_{1x} = V_x(0{,}25) = 2\pi\cos\frac{\pi}{4} = \pi\sqrt{2} \text{ см/с}; \quad V_{1y} = V_y(0{,}25) = -2\pi\sin\frac{\pi}{2} = -2\pi \text{ см/с}.$$

Модуль скорости $V_1 = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2} = \pi\sqrt{6}$ см/с.

Находим проекции a_{1x}, a_{1y} вектора $\vec{a}_1$ ускорения точки на оси системы координат:

$$a_x(t) = \dot{V}_x = -2\pi^2 \sin \pi t\,;\; a_y(t) = \dot{V}_y = -4\pi^2 \cos 2\pi t\,;$$

$$a_{1x} = a_x(0{,}25) = -2\pi^2 \sin\frac{\pi}{4} = -\pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2;\; a_{1y} = a_y(0{,}25) = -4\pi^2 \cos\frac{\pi}{2} = 0.$$

Модуль вектора ускорения $a_1 = \sqrt{a_{1x}^2 + a_{1y}^2} = \pi^2\sqrt{2}$ см/с.

Положение точки M_1 в момент времени $t_1 = 0{,}25$ с, построение векторов скорости $\vec{V}_1$ и ускорения $\vec{a}_1$ по их проекциям показано на рис. 2.4, *а*.

Для того чтобы определить характер движения точки в положении M_1 – ускоренное или замедленное, найдём направление касательного ускорения. С этой целью разложим известный уже вектор ускорения $\vec{a}_1$ на нормальную и касательную составляющие согласно равенству $\vec{a}_1 = \vec{a}_{1\tau} + \vec{a}_{1n}$. При этом направление касательной совпадает с направлением вектора скорости $\vec{V}_1$, а направление нормали – перпендикулярно ему. Касательное ускорение $\vec{a}_{1\tau}$ оказалось направленным противоположно вектору скорости $\vec{V}_1$ (см. рис. 2.4, *а*). Следовательно, точка в рассматриваемый момент движется замедленно.

В момент времени $t_2 = 0{,}75$ с положение M_2 совпадает с положением M_1:

$$x_2 = x(0{,}75) = 2\sin\frac{3\pi}{4} = \sqrt{2} \text{ см};\; y_2 = y(0{,}75) = \cos 2\pi\frac{3}{4} = 0.$$

Проекции векторов скорости $\vec{V}_2$ и ускорения $\vec{a}_2$ точки на оси координат:

$$V_{2x} = V_x(0{,}75) = 2\pi\cos\frac{3\pi}{4} = -\pi\sqrt{2} \text{ см/с};\; V_{2y} = V_y(0{,}75) = -2\pi\sin 2\pi\frac{3}{4} = 2\pi \text{ см/с};$$

$$a_{2x} = a_x(0{,}75) = -2\pi^2 \sin\frac{3\pi}{4} = -\pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2;\; a_{2y} = a_y(0{,}75) = -4\pi^2 \cos 2\pi\frac{3}{4} = 0.$$

Модули скорости и ускорения точки в момент времени $t_2 = 0{,}75$ с:

$$V_2 = \sqrt{V_{2x}^2 + V_{2y}^2} = \pi\sqrt{6} \text{ см/с};\;\; a_2 = |a_{2x}| = \pi^2\sqrt{2} \text{ см/с}^2.$$

Положение точки M_2 в момент времени t_2 = 0,75 с, построение векторов скорости $\vec{V}_2$ и ускорения $\vec{a}_2$ по их проекциям, а также разложение вектора ускорения $\vec{a}_2$ на составляющие $\vec{a}_{2n}$ и $\vec{a}_{2\tau}$ показано на рис. 2.4, *b*. В данном случае вектор касательного ускорения совпадает по направлению с вектором скорости (см. рис. 2.4, *b*), поэтому движение ускоренное.

В целом движение точки по траектории происходит следующим образом. Из начального положения M_0 (t_0 = 0) точка с замедлением перемещается по правой ветви параболы. Достигнув положения *B* на траектории (t_B = 0,5 с), точка совершает мгновенную остановку и начинает обратное ускоренное движение. Достигнув положения M_0 (t_{M_0} = 1 с), точка переходит на левую часть параболы, где движется аналогично.

Задача 21. Рудничный поезд выходит на закруглённый участок пути радиуса *R* = 1 км с начальной скоростью 54 км/ч. Считая движение поезда равнопеременным, определить его скорость и ускорение в конце 10-й секунды движения по закруглённому участку, если за это время поезд прошёл путь 500 м.

Решение

Примем за начало отсчёта расстояния точку M_0, где поезд выходит на закруглённый участок пути (рис. 2.5). Предположим, движение поезда равноускоренное и происходит в сторону возрастания дуговой координаты *S*. В этом случае вектор скорости и вектор касательного ускорения направлены в положительную сторону касательной.

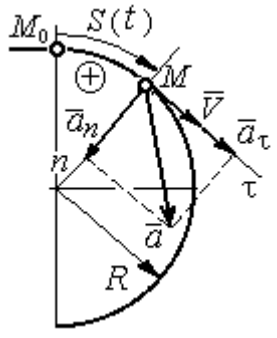


Рис. 2.5. Скорость и ускорение поезда

При равнопеременном движении проекция вектора ускорения на касательную постоянна: a_τ = const. Так как $a_\tau = \dfrac{dV_\tau}{dt}$, то $V_\tau = a_\tau t + C_1$, где V_τ – проекция вектора скорости на касательную ось. Далее, поскольку $V_\tau = \dfrac{dS}{dt}$, имеем

$S = \frac{a_\tau t^2}{2} + C_1 t + C_2$. Константы интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий: при $t = 0$ $S = 0$ и $V_\tau = V_0 = = 54$ км/ч = 15 м/с. Подставив эти условия в уравнения движения, найдём константы интегрирования: $C_1 = 15$ м/с; $C_2 = 0$.

В результате получена система уравнений:

$$V_\tau = a_\tau t + 15; \quad S = \frac{a_\tau t^2}{2} + 15t .$$

По условию задачи через 10 с от начала движения по закруглённому участку поезд прошёл по дуге путь $S = 500$ м. Подставляя это условие во второе уравнение, получим $a_\tau = 7$ м/с^2. Скорость поезда в конце пройденного пути с учётом известной величины касательного ускорения найдём из первого уравнения $V_\tau = 85$ м/с. Следует заметить, что при указанном движении поезда проекция вектора скорости на касательную ось положительна и равна его модулю: $V_\tau = V$.

Нормальное ускорение поезда при движении по дуге окружности радиуса $R = 1000$ м в момент времени $t = 10$ с равно $a_n = \frac{V_\tau^2}{R} = 7{,}23$ м/с^2. Величина (модуль) полного ускорения поезда $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = 10{,}06$ м/с^2. Разложение вектора ускорения поезда на нормальную и касательную составляющие показано на рис. 2.5.

Задача 22. Вагонетка движется равнопеременно по дуге окружности радиуса $R = 80$ м. За время движения скорость вагонетки изменилась от начальной $V_0 = 18$ км/ч до конечной $V_1 = 9$ км/ч.

Определить характер движения – ускоренное или замедленное. Найти ускорение вагонетки в начале и в конце участка движения, если за это время она прошла путь $S = 60$ м.

Решение

Выберем некоторую точку на траектории в качестве начальной, а направление положительного отсчёта расстояний – в сторону движения вагонетки.

Уравнения равнопеременного движения точки при начальных условиях: $t = 0$; $S = 0$ и $V_\tau = V_0 = 5$ м/с имеют вид:

$$V_\tau = 5 + a_\tau t\,;\;\; S = 5t + \frac{a_\tau t^2}{2}.$$

Подставим в уравнения параметры движения в момент времени $t = t_1$, когда скорость вагонетки стала $V_{1\tau} = 2{,}5$ м/с, а пройденный ею путь составил 60 м. Получим систему:

$$-2{,}5 = a_\tau t_1;\;\; 60 = 5t_1 + \frac{a_\tau t_1^2}{2},$$

откуда найдём касательное ускорение: $a_\tau = -0{,}16$ м/с^2.

Отрицательная величина означает, что вектор касательного ускорения направлен в сторону, противоположную направлению вектора скорости, и движение равнозамедленное.

Нормальное ускорение вагонетки в начале движения $a_{n0} = \frac{V_0^2}{R} = 0{,}31$ м/с^2.

Полное ускорение $a_0 = \sqrt{a_{n0}^2 + a_\tau^2} = 0{,}35$ м/с^2. В конце движения нормальное ускорение $a_{n1} = \frac{V_1^2}{R} = 0{,}08$ м/с^2. Полное ускорение $a_1 = \sqrt{a_{n1}^2 + a_\tau^2} = 0{,}18$ м/с^2.

2.2. Поступательное движение и вращение твердого тела вокруг неподвижной оси

Движение твёрдого тела называется **поступательным**, если любой прямолинейный отрезок, связанный с телом, остаётся в процессе движения параллельным самому себе. При **поступательном** движении твёрдого тела все его точки движутся по одинаковым траекториям, имеют равные скорости и ускорения.

Вращением твёрдого тела вокруг неподвижной оси называется такое его движение, при котором две точки тела остаются неподвижными в течение всего времени движения. Прямая, проходящая через неподвижные точки, называется **осью вращения** тела.

Положение вращающегося тела определяется углом поворота $\varphi = \varphi(t)$ относительно какой-либо системы отсчёта, например, относительно неподвижной плоскости, проходящей через ось вращения.

Вектор угловой скорости вращения тела $\vec{\omega}$ лежит на оси вращения и направлен в сторону, откуда вращение тела видно против хода часовой стрелки. **Алгебраическим значением угловой скорости** вращения тела называют проекцию вектора угловой скорости на ось вращения (ось z) $\omega_z = \dot{\varphi}$. При $\dot{\varphi} > 0$ тело вращается в сторону положительного направления отсчёта угла φ, при $\dot{\varphi} < 0$ – в обратную сторону. Направление угловой скорости обычно показывают дуговой стрелкой вокруг оси вращения. Модуль алгебраического значения угловой скорости вращения тела называется угловой скоростью $\omega = |\omega_z| = |\dot{\varphi}|$.

Алгебраическим значением **углового ускорения** вращающегося тела называют проекцию вектора углового ускорения на ось вращения (ось z) $\varepsilon_z = \dot{\omega}_z = \ddot{\varphi}$. Модуль алгебраического значения углового ускорения вращения тела называется угловым ускорением: $\varepsilon = |\varepsilon_z| = |\dot{\omega}_z| = |\ddot{\varphi}|$.

Вектор углового ускорения направлен вдоль оси вращения. Если $\varepsilon_z \omega_z > 0$ (вектора угловой скорости и углового ускорения сонаправлены), движение ускоренное, если $\varepsilon_z \omega_z < 0$ (векторы угловой скорости и углового ускорения противоположны по направлению), – замедленное.

При равномерном вращении угловая скорость тела (алгебраическое значение) – постоянная величина: ω_z = const. Угол поворота тела изменяется по линейному закону $\varphi = \varphi_0 + \omega_z t$, где φ_0 – начальный угол поворота тела.

При равнопеременном вращении постоянной величиной является алгебраическое значение углового ускорения: ε_z = const. В этом случае справедливы уравнения движения: $\omega_z = \omega_{z0} + \varepsilon_z t$; $\varphi = \varphi_0 + \omega_{z0} t + \dfrac{\varepsilon_z t^2}{2}$.

При вращательном движении тела все его точки движутся по окружностям, радиусы которых равны расстояниям от выбранной точки до неподвижной оси. **Скорость точки** вращающегося твердого тела **(**в отличие от угловой скорости тела) называют **линейной,** или **окружной скоростью** точки. Модуль скорости точки рассчитывается по формуле: $V = \omega h$, где ω – угловая скорость тела; h – расстояние от точки до оси вращения. Вектор скорости направлен по касательной к описываемой точкой окружности в сторону вращения тела.

При вращении тела отношение скоростей двух точек тела равно отношению расстояний от этих точек до оси вращения: $\dfrac{V_{M_1}}{V_{M_2}} = \dfrac{h_1}{h_2}$ (рис. 2.6).

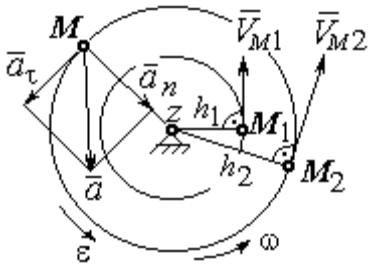


Рис. 2.6. Скорость и ускорение точек вращающегося тела

Ускорение точки вращающегося твердого тела рассчитывается как ускорение точки при естественном способе задания движения в виде суммы векторов касательного и нормального ускорений (см. рис. 2.6): $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$, где модули векторов $a_\tau = \varepsilon h$, $a_n = \omega^2 h$; $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$; ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела, $\varepsilon = |\varepsilon_z|$; h – расстояние от точки до оси вращения. **Вектор касательного ускорения точки** $\vec{a}_\tau$ направлен по касательной к описываемой точкой окружности в сторону движения точки, если вращение тела ускоренное, и в противоположную сторону, если движение тела замедленное. **Вектор нормального ускорения точки** $\vec{a}_n$ направлен вдоль радиуса описываемой точкой окружности к её центру.

При **передаче вращения** одного тела другому без проскальзывания соотношения между угловыми скоростями и угловыми ускорениями выражаются из равенства скоростей и касательных ускорений в точке контакта: $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$; $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{r_2}{r_1}$ (рис. 2.7).

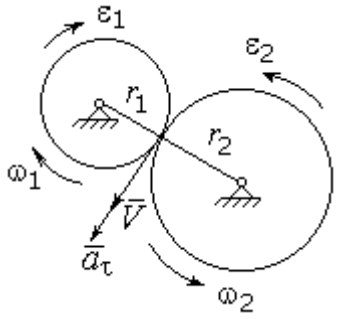


Рис. 2.7. Передача вращения одного тела другому

Примеры решения задач на вращательное движение тел

Задача 23. Вал, начиная вращаться равноускоренно из состояния покоя, за первые 2 мин. сделал 3600 оборотов. Определить угловую скорость вала в конце 2-й минуты и угловое ускорение вала.

Решение

Допустим, вращение вала вокруг оси z происходит в сторону положительного направления отсчёта угла. Тогда алгебраические значения угловой скорости и углового ускорения равны модулям соответствующих векторов $\omega_z = \omega$; $\varepsilon_z = \varepsilon$.

Воспользуемся уравнениями равнопеременного вращения вала с нулевыми начальными условиями (начальный угол поворота $\varphi_0 = 0$ и начальная угловая скорость вала $\omega_0 = 0$). Имеем $\omega = \varepsilon t$; $\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2}$.

Подставим в уравнения параметры движения вала в момент времени $t = t_1$ = 2 мин = 120 с; φ_1 = 3600 об = 7200π рад. Получим систему:

$$\omega_1 = \varepsilon \cdot 120, \quad 7200\pi = \frac{\varepsilon \cdot 120^2}{2}, \text{ откуда } \varepsilon = \pi \text{ с}^{-2}; \quad \omega_1 = 120\pi \text{ с}^{-1}.$$

Задача 24. В механизме стрелочного индикатора (рис. 2.8) движение от рейки мерительного штифта 1 передаётся шестерне 2, скреплённой на одной оси с зубчатым колесом 3. Колесо 3 сцепляется, в свою очередь, с шестернёй 4, несущей стрелку-индикатор. Определить угловую скорость стрелки, если движение штифта задаётся уравнением $x = 4\sin\pi t$ и радиусы зубчатых колёс: r_2 = 6 см, r_3 = 10 см, r_4 = 4 см.

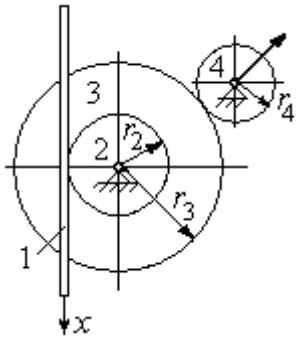


Рис. 2.8. Механизм стрелочного индикатора

Решение

Мерительный штифт движется поступательно вдоль оси *x* (см. рис. 2.8). Проекция скорости любой точки штифта на ось *x* $V_{1x} = \dot{x} = 4\pi\cos\pi t$ см/с. Такую же скорость имеет и точка касания штифта с шестернёй 2.

Полагая, что точка касания штифта с шестернёй 2 принадлежит и шестерне, найдём алгебраическое значение угловой скорости шестерни 2: $\omega_{2z} = \dfrac{V_{1x}}{r_2} = \dfrac{4\pi\cos\pi t}{6} = \dfrac{2\pi}{3}\cos\pi t$ рад/с. Зубчатое колесо 3 скреплено с шестернёй 2 на одной оси и имеет ту же угловую скорость $\omega_{3z} = \omega_{2z}$. Вращение колеса 3 через точку зацепления передаётся шестерне 4. Выразим соотношение между алгебраическими значениями угловых скоростей при передаче вращения одного тела другому: $\dfrac{\omega_{3z}}{\omega_{4z}} = \dfrac{r_4}{r_3}$. Отсюда получим: $\omega_{4z} = \dfrac{V_{1x} r_3}{r_2 r_4} = \dfrac{5\pi}{3}\cos\pi t$ с$^{-1}$. Угловая скорость стрелки равна угловой скорости шестерни 4.

Задача 25. Ведущее колесо 1 подъёмного устройства (рис. 2.9) передаёт движение шестерне 2. На одной оси с шестернёй 2 расположен шкив 3, жёстко скреплённый с

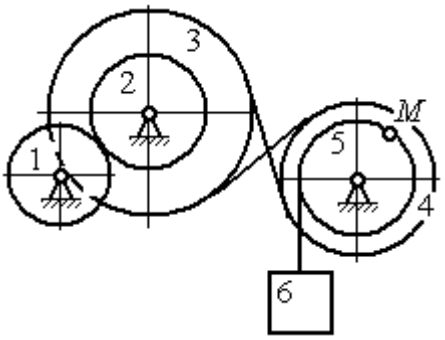


Рис. 2.9. Схема механизма подъёмного устройства

шестернёй. Шкив 3 соединяется со шкивом 4 бесконечным перекрёстным ремнём. Барабан 5 скреплён со шкивом 4 и находится с ним на одной оси. На барабан намотана нить, удерживающая груз 6. По заданному уравнению движения колеса 1 определить скорость, нормальное, касательное и полное ускорения точки M на ободе барабана 5 в момент времени $t_1 = 1$ с, а также скорость и ускорение груза 6. Скольжение между звеньями механизма отсутствует.

Значения радиусов колёса, шкивов и барабана механизма: $r_1 = 20$ см, $r_2 = 10$ см, $r_3 = 40$ см, $r_4 = 16$ см, $r_5 = 8$ см. Уравнение вращения колеса 1: $\varphi_1 = 2t^2 - 5t$ рад.

Решение

Ведущим звеном в механизме является колесо 1. Выберем положительное направление отсчёта угла поворота колеса 1 в сторону, противоположную направлению вращения часовой стрелки. На рис. 2.10 это направление показано дуговой стрелкой φ_1.

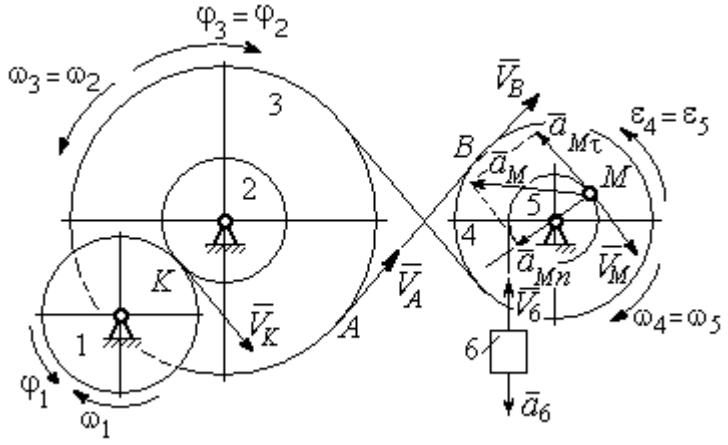


Рис. 2.10. Расчётная схема механизма

Продифференцировав по времени уравнение движения колеса 1, получим алгебраическое значение его угловой скорости: $\omega_{1z} = \dot{\varphi}_1 = 4t - 5$ рад/с. В момент времени $t_1 = 1$ с алгебраическое значение угловой скорости колеса 1 отрицательно: $\dot{\varphi}_1(1) = -1$ рад/с. Это означает, что в данный момент времени колесо 1 вращается в сторону, противоположную положительному направлению отсчёта угла φ_1. Угловая скорость колеса 1 равна модулю: $\omega_1 = |\omega_{1z}| = 1$ рад/с. Направление угловой скорости ω_1 колеса 1 в момент времени $t_1 = 1$ с показано дуговой стрелкой ω_1.

Вращение колеса 1 передаётся шестерне 2 через точку контакта *K*. Из соотношения $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$ найдём угловую скорость шестерни 2: $\omega_2 = \frac{\omega_1 r_1}{r_2}$. Шкив 3, закреплённый на одной оси с шестернёй 2 имеет такую же угловую скорость, $\omega_3 = \omega_2$. Направление угловых скоростей шестерни 2 и шкива 3 показано на рис. 2.10 дуговой стрелкой ω_2.

Передача движения шкива 3 шкиву 4 производится с помощью ремённой передачи. На участке от точки *A*, где ремень сходит со шкива 3, и до точки *B*, где ремень набегает на шкив 4, ремень движется поступательно, поэтому скорости точек *A* и *B* равны: $V_A = V_B$. Выразив скорости точек через угловые скорости тел, имеем равенство $\omega_3 r_3 = \omega_4 r_4$, откуда с учётом, что $\omega_3 = \omega_2$, найдём угловую скорость шкива 4: $\omega_4 = \frac{\omega_3 r_3}{r_4} = \frac{\omega_1 r_1 r_3}{r_2 r_4}$. Угловая скорость барабана 5 равна угловой скорости шкива 4, $\omega_5 = \omega_4$. Направление угловых скоростей шкива 4 и барабана 5 показано на рис. 2.10 дуговой стрелкой ω_4.

Величина (модуль) скорости точки *M* рассчитывается по формуле: $V_M = \omega_5 r_5$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\omega_5 = \frac{\omega_1 r_1 r_3}{r_2 r_4} = 5$ рад/с и $V_M = 20$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_M$ направлен по касательной к ободу барабана в точке *M* и направлен в сторону вращения барабана 5 (см. рис. 2.10).

Нить, несущая груз 6, сматываясь с обода барабана, имеет скорость, равную скорости точек обода барабана, и, следовательно, равна скорости точки *M*: $V_6 = V_M$. Направление скорости груза 6 определяется направлением вращения барабана 5. При $t_1 = 1$с груз поднимается со скоростью $V_6 = 20$ см/с.

Определим ускорение точки *M*. Вектор ускорения точки *M* равен сумме векторов: $\vec{a}_M = \vec{a}_M^{\tau} + \vec{a}_M^{n}$, где $\vec{a}_M^{\tau}$, $\vec{a}_M^{n}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения.

Найдём алгебраическое значение угловой скорости барабана 5: $\omega_{5z} = \dfrac{\omega_{1z} r_1 r_3}{r_2 r_4} = 20t - 25$ рад/с. Алгебраическое значение углового ускорения барабана 5 ε_{5z} равно производной $\varepsilon_{5z} = \dot{\omega}_{5z} = 20$ рад/с^2. Так как в момент времени $t_1 = 1$ с знаки алгебраических значений угловой скорости барабана и его углового ускорения разные ($\omega_{5z} = -5$ рад/с $\vec{a}_M = \vec{a}_M^{\tau} + \vec{a}_M^{n}$ $\varepsilon_{5z} = +20$ рад/с^2), угловое ускорение (по величине равное модулю $\varepsilon_5 = |\varepsilon_{5z}|$) направлено в сторону, противоположную угловой скорости. На рис. 2.10 направление углового ускорения барабана 5 показано дуговой стрелкой ε_5.

Касательное ускорение точки: $a_{M\tau} = \varepsilon_5 r_5 = 80$ см/с^2. Вектор $\vec{a}_{M\tau}$ касательного ускорения точки M направлен по касательной к траектории в точке M в сторону углового ускорения ε_5 (см. рис. 2.10).

Нормальное ускорение точки M рассчитывается как $a_M^n = \omega_5^2 r_5$, где угловая скорость барабана $\omega_5 = |\omega_{5z}|$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\omega_5 = 5$ рад/с и величина нормального ускорения: $\vec{a}_M^{\,n} = 100$ см/с^2. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_M^{\,n}$ направлен по радиусу к центру барабана 5.

Модуль полного ускорения точки M в заданный момент времени: $a_M = \sqrt{(a_M^{\tau})^2 + (a_M^{n})^2} = 128{,}06$ см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_M$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_M^{\,n}$ и $\vec{a}_M^{\tau}$ (см. рис. 2.10).

Ускорение a_6 груза 6 находится из условия, что груз движется прямолинейно. При прямолинейном движении нормальная составляющая ускорения равна нулю. В результате, ускорение груза 6 $a_6 = a_6^{\tau} = \dot{V}_6 = \dot{V}_M = a_M^{\tau} = \varepsilon_5 r_5 = 80$ см/с^2. Направление вектора ускорения груза 6 определяется направлением углового ускорения барабана 5. На рис. 2.10 направление ускорения груза 6 показано вектором $\vec{a}_6$.

Задача 26. По заданному уравнению поступательного движения звена 1 механизма (рис. 2.11, *a*) определить скорость, нормальное, касательное и полное ускорения точки *M* диска 3 в момент времени $t_1 = 1$ с, а также скорость и ускорение звена 4. Скольжение между звеньями механизма отсутствует. Значения радиусов колес механизма и закон движения звена 1: $R_2 = 20$ см, $r_2 = 5$ см, $R_3 = 8$ см, $r_3 = 4$ см, $x_1 = \cos\pi t + \sin\pi t$ см.

Решение

Звено 1 движется поступательно вдоль оси *x*. Положительное направление движения задаётся направлением оси *x* (рис. 2.11, *a*). Продифференцировав по времени уравнение движения звена 1, получим его алгебраическое значение скорости: $V_{1x}(t) = \dot{x}_1 = -\pi\sin\pi t + \pi\cos\pi t$.

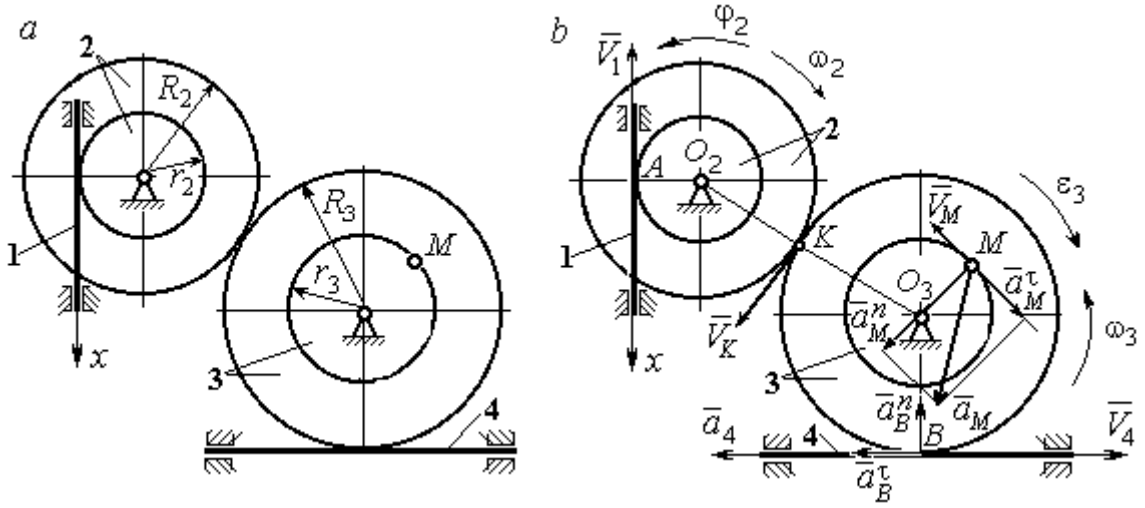


Рис. 2.11. Кинематика поступательного и вращательного движений твердого тела:
a – схема механизма; *b* – расчетная схема для определения скоростей
и ускорений точек механизма

В момент времени $t_1 = 1$ с алгебраическое значение скорости звена 1 отрицательное: $V_{1x}(1) = -\pi$ см/с. Это показывает, что в данный момент времени звено 1 движется в сторону, противоположную положительному направлению оси *x*. Скорость звена 1 равна модулю производной $V_1(1) = |\dot{x}_1| = \pi$ см/с. На рис. 2.11, *b* показано направление вектора скорости $\vec{V}_1$.

Точка A соприкосновения звена 1 с диском 2 имеет ту же скорость, что и звено 1. Угловая скорость диска 2 определяется из равенства $\omega_2 = \frac{V_1}{r_2}$ рад/с. Направление угловой скорости вращения диска 2 показано на рис. 2.11, *b* дуговой стрелкой ω_2.

Передача вращения диска 2 диску 3 происходит в точке *K*. Из соотношения $\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_3}$ находим угловую скорость диска 3: $\omega_3 = \frac{V_1 R_2}{r_2 R_3} = \frac{\pi}{2}$. Направление угловой скорости диска 3 показано на рис. 2.11, *b* дуговой стрелкой ω_3.

Модуль скорости точки M $V_M = \omega_3 r_3 = 2\pi$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_M$ направлен по касательной к траектории движения точки M в сторону вращения диска 3 (см. рис. 2.11, *b*).

Звено 4 движется поступательно. Величина и направление скорости звена 4 совпадают с величиной и направлением скорости точки B касания звена 4 с диском 3: $V_4 = V_B = \omega_3 R_3$. В момент времени $t_1 = 1$ с $V_4 = 4\pi$ см/с. Направление вектора скорости $\vec{V}_4$ определяется направлением вращения диска 3.

Определим ускорение точки M. Найдём алгебраическое значение ω_{3z} угловой скорости диска 3: $\omega_{3z} = \frac{V_{1x} R_2}{r_2 R_3} = \frac{\pi}{2}(-\sin\pi t + \cos\pi t)$. Алгебраическое значение ε_{3z} углового ускорения диска 3: $\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = -\frac{\pi^2}{2}(\cos\pi t + \sin\pi t)$ и в момент времени $t_1 = 1$ с $\varepsilon_{3z} = \frac{\pi^2}{2}$. Разные знаки алгебраических значений угловой скорости и углового ускорения диска 3 $(\omega_{3z} = -\frac{\pi}{2}; \varepsilon_{3z} = +\frac{\pi^2}{2})$ показывают, что угловое ускорение направлено в сторону, противоположную угловой скорости. На рис 2.11, *b* направление углового ускорения диска 3 показано дуговой стрелкой ε_3.

Касательное ускорение точки M рассчитывается по формуле $a_M^\tau = \varepsilon_3 r_3$, где угловое ускорение $\varepsilon_3 = |\varepsilon_{3z}|$. В момент времени $t_1 = 1$ с $a_M^\tau = 2\pi^2$ см/с^2. Вектор касательного ускорения точки M $\vec{a}_M^\tau$ направлен по касательной к траектории точки M в сторону углового ускорения ε_3 (см. рис. 2.11, *b*).

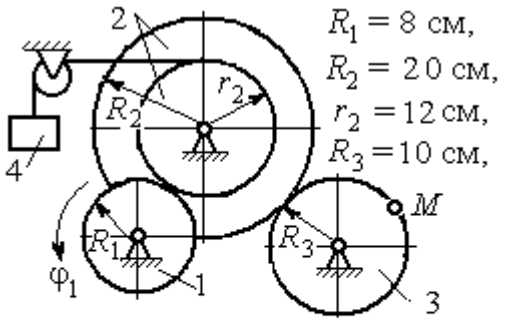
Нормальное ускорение точки M рассчитывается как $a_M^n = \omega_3^2 r_3$. В момент времени $t_1 = 1$ с величина нормального ускорения $a_M^n = \pi^2$ см/с^2. Вектор нормального ускорения $\vec{a}_M^n$ направлен по радиусу к центру диска 3.

Модуль полного ускорения точки M: $a_M = \sqrt{(a_M^n)^2 + (a_M^\tau)^2} = \pi^2\sqrt{5}$ см/с^2. Вектор полного ускорения $\vec{a}_M$ направлен по диагонали прямоугольника, построенного на векторах $\vec{a}_M^n$ и $\vec{a}_M^\tau$.

Звено 4 движется поступательно и прямолинейно. Ускорение звена 4 равно проекции ускорения точки B (касания диска 3 со звеном 4) на линию движения звена 4: $a_4 = a_B^\tau = \varepsilon_3 R_3 = 4\pi^2$ см/с^2. Направление ускорения звена 4 совпадает с касательным ускорением точки B.

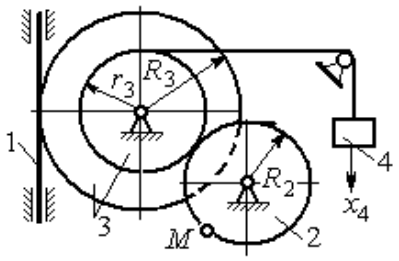
Упражнения

Упражнение 2.1



$\varphi_1 = 3t + 2\sin\frac{\pi t}{2}$ рад,
Найти скорость и ускорение точки M и груза 4 в момент $t = 1$ с

Упражнение 2.2



$R_2 = 0{,}2$ м, $R_3 = 0{,}4$ м, $r_3 = 0{,}3$ м,
$x_4 = t - 1 - \sin\frac{\pi t}{3} + \cos\frac{\pi t}{3}$ м.
Найти скорость и ускорение точки M и звена 1 в момент $t = t_1 = 3$ с.

Рис. 2.12. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.1, 2.2

2.3. Скорости точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела

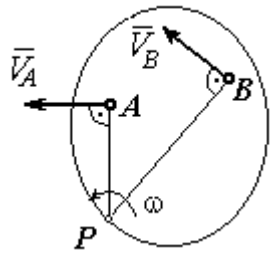
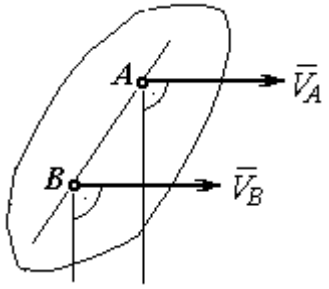
Плоскопараллельным, или плоским движением твердого тела, называется такое движение, при котором все точки тела движутся параллельно некоторой неподвижной (основной) плоскости.

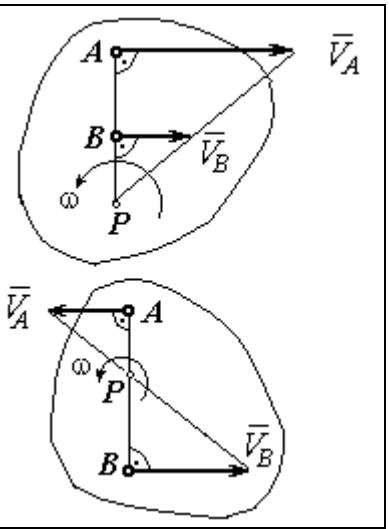
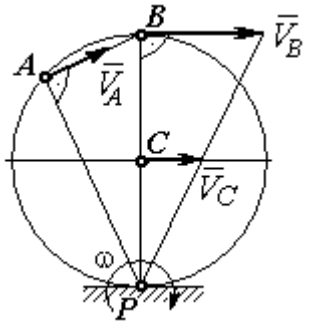
Для скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_M$ двух точек A и M тела, совершающего плоское движение, справедливо утверждение: **проекции скоростей двух точек твердого тела на ось, проходящую через эти точки, равны друг другу:** $V_A\cos\alpha = V_M\cos\beta$, где α, β – углы между векторами скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_M$ и осью, проходящей через точки A и M.

Мгновенным центром скоростей (МЦС) называется точка P плоской фигуры, скорость которой в данный момент времени равна нулю. При известном положении МЦС скорость любой точки плоской фигуры находят так, как если бы движение фигуры было мгновенно вращательным вокруг мгновенного центра скоростей с угловой скоростью, равной угловой скорости плоской фигуры. Способы построения мгновенного центра скоростей приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Способы построения мгновенного центра скоростей

1. Если известны направления скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ каких-нибудь двух точек A и B плоской фигуры, то мгновенный центр скоростей P находится в точке пересечения перпендикуляров, восстановленных из этих точек к векторам скоростей.	
2. Если скорости двух точек $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ параллельны, но точки A и B не лежат на общем перпендикуляре к скоростям, то, как видно из рисунка, мгновенный центр P бесконечно удалён. В этом случае угловая скорость $\omega = 0$ и тело в данный момент движется поступательно (движение является мгновенным поступательным). При таком движении скорость любой точки тела равна $\vec{V}_A$.	

3. Если скорости двух точек $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ параллельны, а точки A и B лежат на общем перпендикуляре к скоростям, то мгновенный центр скоростей P находится как пересечение прямой, соединяющей точки A и B и линии, проходящей через концы векторов, изображающих скорости $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$.	
4. Если плоскопараллельное движение осуществляется путем качения без скольжения одного тела по неподвижной поверхности другого, то мгновенный центр скоростей P расположен в точке касания катящегося тела с неподвижной поверхностью.	

Примеры решения задач на плоскопараллельное движение тела

Задача 27. Приводной механизм насоса находится в положении, показанном на рис. 2.13. Кривошип O_1C вращается с постоянной угловой скоростью ω_{O_1C} = 2 рад/с вокруг оси, проходящей через точку O_1 перпендикулярно плоскости чертежа. Определить скорость поршня D и угловые скорости шатуна BC, коромысла AB и штока AD, если O_1C = 20 см, $OB = 2 \cdot OA$ = 40 см, AD = 60 см.

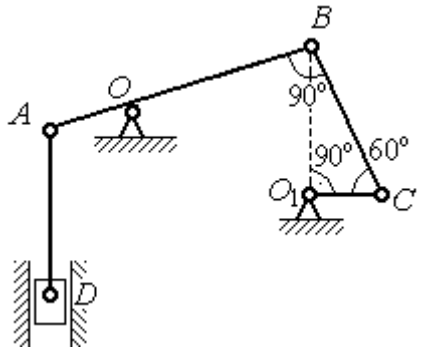


Рис. 2.13. Приводной механизм насоса

Решение

Предположим для определённости, что кривошип O_1C вращается в направлении по ходу часовой стрелки. Вектор $\vec{V}_C$ скорости точки C направлен

перпендикулярно кривошипу O_1C, в сторону его вращения (рис. 2.14). Модуль скорости $V_C = \omega_{O_1C} \cdot O_1C = 40$ см/с.

Коромысло AB качается (вращается) вокруг оси, проходящей через точку O, параллельно оси вращения кривошипа. Скорость точки B направлена перпендикулярно коромыслу AB вдоль шатуна BC (рис. 2.14).

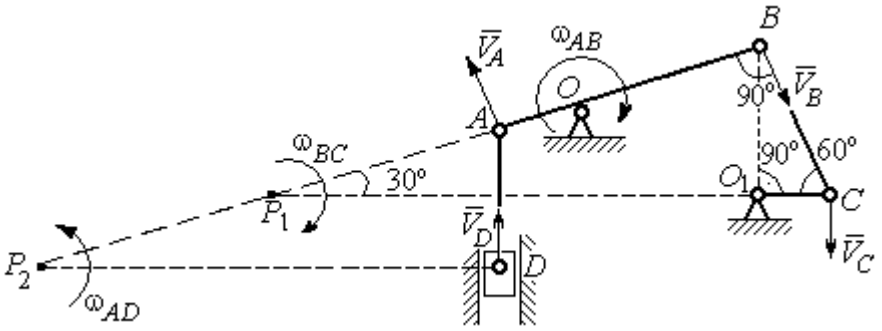


Рис. 2.14. Расчётная кинематическая схема механизма привода насоса

Шатун BC совершает плоскопараллельное движение. Мгновенный центр скоростей шатуна P_1 расположен в точке пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек C и B шатуна. Находим $P_1C = 4O_1C = 80$ см. Угловая скорость вращения шатуна BC $\omega_{BC} = \dfrac{V_C}{CP_1} = 0{,}5$ рад/с. Направление угловой скорости вращения шатуна BC определяется направлением вращения кривошипа O_1C и на рис. 2.14 показано дуговой стрелкой ω_{BC}.

Скорость V_B найдём по теореме о проекциях скоростей. Спроектируем вектора скоростей $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек C и B на линию BC. Получим $V_B \cos 0^\circ = V_C \cos 30^\circ$. Отсюда $V_B = 20\sqrt{3}$ см/с.

Угловая скорость коромысла AB $\omega_{AB} = \dfrac{V_B}{OB} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}$ рад/с. Направление угловой скорости коромысла определяется направлением вектора скорости $\vec{V}_B$ и показано дуговой стрелкой ω_{AB}.

Скорость точки A коромысла равна половине скорости точки B: $V_A = \frac{1}{2}V_B$ = $10\sqrt{3}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно коромыслу AB в сторону его вращения.

Точка P_2 пересечения перпендикуляров к скоростям $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_D$ является мгновенным центром скоростей штока AD. Тогда угловая скорость штока $\omega_{AD} = \frac{V_A}{AP_2} = \frac{\sqrt{3}}{12}$ рад/с. Направление угловой скорости штока определяется по направлению скорости точки A и на рис. 2.14 показано дуговой стрелкой ω_{AD}.

Скорость поршня $V_D = \omega_{AD} \cdot P_2D = 15$ см/с.

Задача 28. Механизм качалки (рис. 2.15) состоит из кривошипа OA, вращающегося вокруг оси O и несущего в точке A ось подвижной шестерни 2, которая катится по неподвижной шестерне 1. Вращение кривошипа происходит с угловой скоростью $\omega_{OA} = 2$ рад/с. Радиусы шестерён $r_1 = r_2 = 6$ см. К ободу шестерни 2 в точке B шарнирно прикреплён шатун BC длиной $BC = 8$ см, который в точке C передаёт движение коромыслу CO_1 длиной $CO_1 = 16$ см.

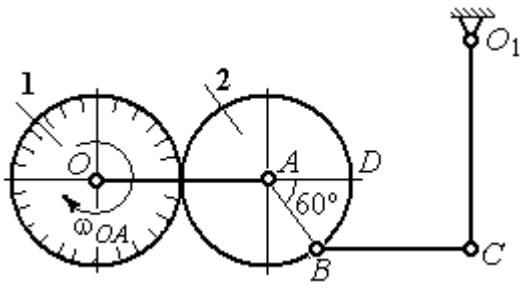


Рис. 2.15. Схема механизма качалки

Определить угловые скорости шестерни 2, шатуна BC, коромысла CO_1, а также скорости точек A, B, C, D в момент, когда кривошип OA и шатун BC горизонтальны и угол $\angle DAB = 60^\circ$.

Решение

Найдём скорость точки A кривошипа: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 24$ см/с. Вектор скорости точки $\vec{V}_A$ расположен перпендикулярно кривошипу OA и направлен в сторону вращения кривошипа (рис. 2.16).

Мгновенный центр скоростей P_2 шестерни 2 находится в точке касания с неподвижной поверхностью шестерни 1. Угловая скорость шестерни 2 $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2}$ = 4 рад/с. Направление угловой скорости шестерни 2 определяется направлением вектора скорости $\vec{V}_A$ и на рис. 2.16 показано дуговой стрелкой ω_2.

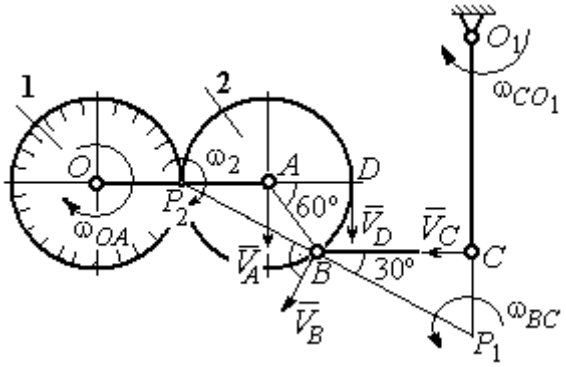


Рис.2.16. Расчётная кинематическая схема механизма качалки

Найдём расстояние P_2B из равнобедренного треугольника P_2AB по теореме косинусов: $P_2B = \sqrt{r^2 + r^2 - 2r^2\cos 120^\circ}$ = $6\sqrt{3}$ см. Скорость точки B $V_B = \omega_2 \cdot P_2B$ = $24\sqrt{3}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_2B и направлен в сторону вращения шестерни 2.

Скорость точки D: $V_D = \omega_2 \cdot P_2D$ = 48 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_D$ перпендикулярен линии P_2D и направлен в ту же сторону (см. рис. 2.16).

Скорость точки C перпендикулярна линии CO_1. Восстанавливая перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$, получим точку пересечения P_1, которая будет мгновенным центром скоростей шатуна BC. Расстояние $P_1B = \dfrac{BC}{\cos 30^\circ}$ = $\dfrac{16}{\sqrt{3}}$ см. Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{P_1B}$ = $\dfrac{9}{2}$ рад/с. Направление угловой скорости определяется по направлению скорости $\vec{V}_B$ и показано дуговой стрелкой ω_{BC}.

Скорость точки C: $V_C = \omega_{BC} \cdot P_1C$ = $\dfrac{36}{\sqrt{3}}$ см/с. Направление вектора скорости определяется направлением вращения шатуна BC.

Угловая скорость коромысла CO_1: $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{O_1C}$ = $\dfrac{9}{4\sqrt{3}}$ рад/с.

Задача 29. В планетарном механизме (рис. 2.17) кривошип *OA* длиной *OA* = 25 см вращается вокруг неподвижной оси *O*, перпендикулярной плоскости рисунка, с угловой скоростью ω_{OA} = 3,6 рад/с. На конец *A* кривошипа насажена шестерёнка 2, находящаяся во внутреннем зацеплении с колесом 1 радиуса r_1 = 45 см, соосным с кривошипом *OA* и вращающимся с угловой скоростью ω_1 = 1 рад/с. Шатун *BC*, шарнирно соединённый с шестерёнкой 2 на её ободе в точке *B*, приводит в движение кривошип CO_1. Определить угловые скорости шестерёнки 2, шатуна *BC* и кривошипа CO_1, скорости точек *A, B, C* в положении, показанном на рис.2.17, если длина шатуна *BC* = 100 см, длина кривошипа CO_1 = 50 см.

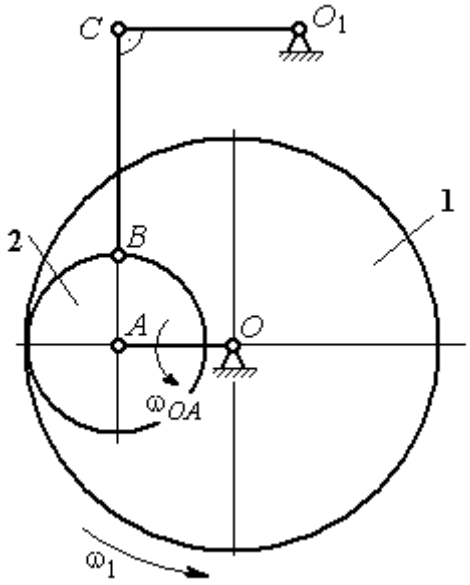


Рис. 2.17. Планетарный механизм

Решение

Найдём скорости точек *A* и *D*

$$V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 90 \text{ см/с}; \quad V_D = \omega_1 \cdot r_1 = 45 \text{ см/с}.$$

Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу *OA* в сторону его вращения. Вектор скорости $\vec{V}_D$ перпендикулярен радиусу *OD* колеса 1 и направлен в сторону вращения колеса (рис. 2.18).

Мгновенный центр скоростей P_2 шестерни 2 находится на пересечении прямой, соединяющей точки *A* и *D*, и линии, проходящей через концы векторов $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_D$, изображающих скорости точек *A* и *D* Расстояние P_2D от центра скоростей до точки *D* находится из пропорции $\frac{V_A}{V_D} = \frac{AP_2}{DP_2} = \frac{DP_2 + 20}{DP_2}$, откуда P_2D = 20 см.

Угловая скорость шестерёнки 2 $\omega_2 = \dfrac{V_D}{P_2 D} = 2{,}25$ рад/с. Направление угловой скорости ω_2 показано на рис. 2.18 дуговой стрелкой ω_2.

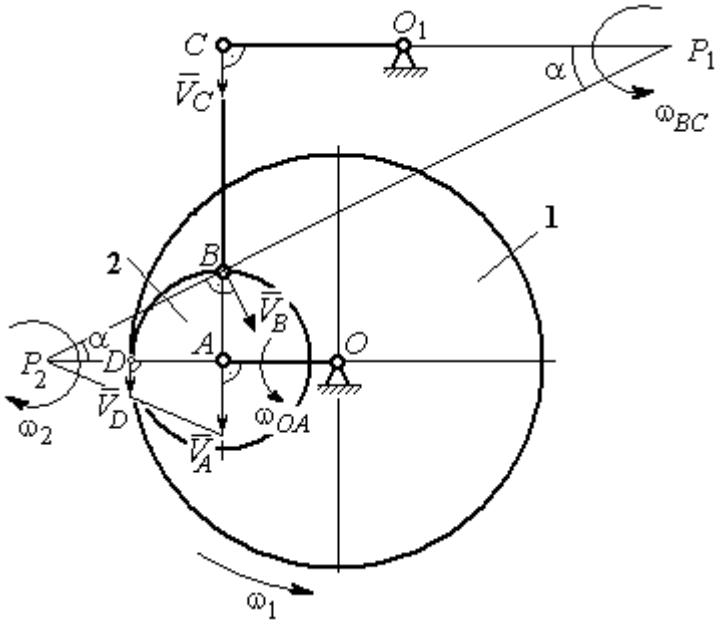


Рис. 2.18. Расчётная кинематическая схема планетарного механизма

Скорость точки *B,* которая находится на ободе шестеренки, $V_B = \omega_2 \cdot P_2 B = 45\sqrt{5}$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_2B и направлен в сторону вращения шестерни 2.

Направим вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярно кривошипу CO_1 и восстановим перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$. Точка P_1 пересечения перпендикуляров является мгновенным центром скоростей шатуна *BC*. Расстояние P_1B найдём из треугольника P_1BC: $P_1B = \dfrac{BC}{\sin\alpha}$, где $\sin\alpha = \dfrac{AB}{P_2B} = \dfrac{1}{\sqrt{5}}$. Тогда $P_1B = 100\sqrt{5}$ см.

Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{P_1 B} = 0{,}45$ рад/с. Скорость точки *C* шатуна *BC* найдём по теореме о проекциях скоростей. Спроектируем скорости $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_B$ точек *C* и *B* на линию, проходящую через эти точки Имеем: $V_C \cos 0^\circ = V_B \cos\alpha$, откуда $V_C = 90$ см/с.

Угловая скорость кривошипа CO_1 $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{O_1 C} = 1{,}8$ рад/с.

Задача 30. В плоском механизме (рис. 2.19) кривошип OA вращается вокруг оси O с угловой скоростью ω_{OA}. На конец A кривошипа насажена шестерня 2, находящаяся во внешнем зацеплении с неподвижным колесом 1. Радиусы колеса и шестерни r_1 и r_2. Шестерня 2 соединяется с колесом 3 шатуном BC, закреплённым на шестерне в точке B и на колесе в точке C. Колесо 3 катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Все соединения шарнирные. Качение шестерни 2 по неподвижному колесу 1 без проскальзывания. Для положения механизма, изображенного на рис. 2.19, определить скорости точек A, B, C и угловые скорости шатуна BC, шестерни 2 и колеса 3, если $\omega_{OA} = 4$ рад/с; $r_1 = 4$ см; $r_2 = r_3 = 8$ см.

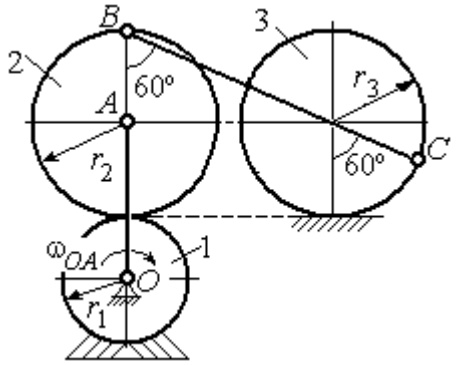


Рис. 2.19. Схема движения плоского механизма

Решение

Рассмотрим вращательное движение кривошипа OA. Скорость точки A кривошипа: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA =$ 48 см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу OA в сторону его вращения (рис. 2.20).

При качении шестерни 2 по неподвижной поверхности колеса 1 точка их соприкосновения P_2 является мгновенным центром скоростей шестерни.

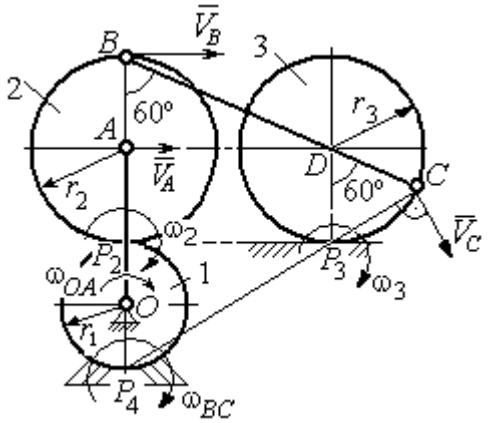


Рис. 2.20. Расчетная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Угловая скорость шестерни 2 $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} = 6$ рад/с.

Скорость точки B шестерни 2 $V_B = \omega_2 \cdot BP_2 = 96$ см/с.

Точка P_3 касания колеса 3 с неподвижной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Вектор $\vec{V}_C$ скорости точки C колеса 3 перпендикулярен линии P_3C и направлен в сторону качения колеса (см. рис. 2.20).

Мгновенный центр скоростей шатуна BC – точка P_4 находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям точек B и C. По построению $BP_4 = BC = BD + DC = 2r_2 + r_3 = 24$ см. Угловая скорость шатуна BC $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{BP_4} = 4$ рад/с. Так как $BP_4 = CP_4$, скорости точек C и B $V_C = 96$ см/с.

Угловая скорость колеса 3 $\omega_3 = \dfrac{V_C}{CP_3} = 12$ рад/с.

Задача 31. В плоском механизме (рис. 2.21) кривошип OC, вращаясь вокруг неподвижной оси O, приводит в движение два шатуна CD и CE, присоединённых к кривошипу в точке C. Шатун CE прикреплён в точке E к ободу цилиндрического выступа диска 1, который катится без проскальзывания своим выступом по неподвижному горизонтальному рельсу. К другому шатуну CD в точке D прикреплён ползун, перемещающийся вдоль направления вертикального диаметра диска 1. Все соединения шарнирные. Радиусы диска и цилиндрического выступа $R_1 = 3$ см, $r_1 = 2$ см. Длина шатуна $CE = 4$ см. В заданном положении механизма (см. рис. 2.21) шатун CE горизонтален.

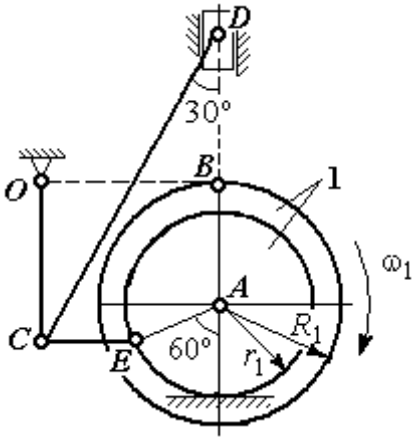


Рис. 2.21. Схема движения плоского механизма

Определить скорости точек A, E, C, D и угловые скорости диска 1, шатунов CE, CD и кривошипа CO, если известна скорость точки B на ободе диска 1 $V_B = 10$ см/с и направление ω_1 угловой скорости диска.

Решение

Изобразим вектор скорости точки *B* диска 1 в соответствии с заданным направлением его движения. При качении диска 1 по неподвижной поверхности рельса точка P_1 касания обода выступа с поверхностью рельса является его мгновенным центром скоростей (рис. 2.22).

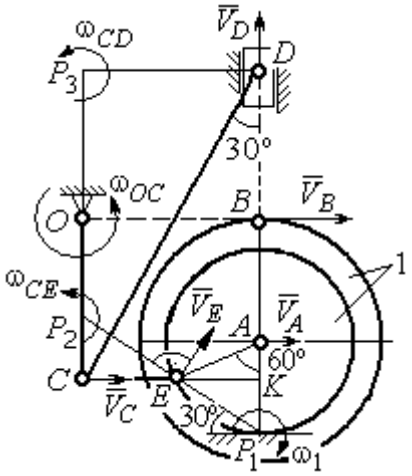


Рис. 2.22. Расчётная схема для определения скоростей точек и угловых скоростей звеньев механизма

Угловая скорость диска 1 $\omega_1 = \dfrac{V_B}{BP_1}$ = 2 рад/с. Скорость точки A $V_A = \omega_1 \cdot AP_1$ = 4 см/с. Скорость точки E $V_E = \omega_1 \cdot EP_1 = 4$ см/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ и вектор скорости $\vec{V}_E$ перпендикулярны, соответственно, линиям AP_1 EP_1 и направлены в сторону вращения диска.

Шатун CE совершает плоскопараллельное движение. Скорость точки C шатуна неизвестна по величине, но известно, что вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярен кривошипу OC и направлен вдоль CE в сторону точки E. Мгновенный центр скоростей P_2 шатуна CE находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям $\vec{V}_E$ и $\vec{V}_C$ (см. рис. 2.22).

Расстояние $EP_2 = \dfrac{EC}{\cos 30^\circ}$ = 4,62 см. Угловая скорость шатуна CE $\omega_{CE} = \dfrac{V_E}{EP_2}$ = 0,86 рад/с. Направление угловой скорости шатуна, определяемое по направлению скорости точки E, на рис. 2.22 показано дуговой стрелкой ω_{CE}. Скорость точки C шатуна CE $V_C = \omega_{CE} \cdot CP_2 = \dfrac{V_E}{2} = 2$ см/с.

Длина кривошипа $OC = BK = R_1 + r_1 \sin 30^\circ =$ 4 см. Угловая скорость кривошипа $\omega_{OC} = \dfrac{V_C}{OC} = 0{,}5$ рад/с.

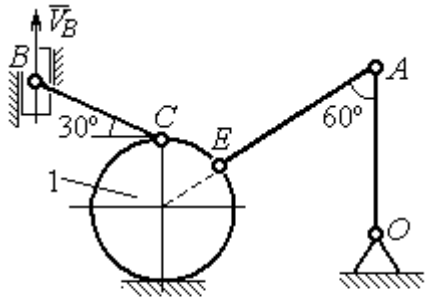
Для шатуна *CD* известны величина и направление вектора $\vec{V}_C$ скорости точки *C* и направление вектора $\vec{V}_D$ скорости точки *D*. Мгновенный центр скоростей шатуна *CD* находится в точке P_3, полученной на пересечении перпендикуляров, восстановленных к скоростям $\vec{V}_C$ и $\vec{V}_D$.

Расстояние $CP_3 = DK =$ $(CE + r_1 \cos 30^\circ)\operatorname{ctg} 30^\circ =$ 9,92 см (см. рис. 2.22). Угловая скорость шатуна *CD:* $\omega_{CD} = \dfrac{V_C}{CP_3} = 0{,}21$ рад/с.

Скорость ползуна *D:* $V_D = \omega_{CD} DP_3 = \omega_{CD}(CE + r_1 \cos 30^\circ) = 1{,}2$ см/с.

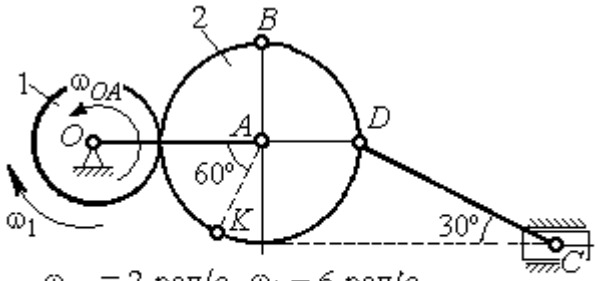
Упражнения

Упражнение 2.3



$R_1 = 2$ см, $OA = AE = 6$ см,
$BC = 5$ см, $V_B = 5$ см/с.
Найти: $\omega_{OA}, \omega_{AE}, \omega_{CB}, \omega_1, V_C, V_A, V_E$

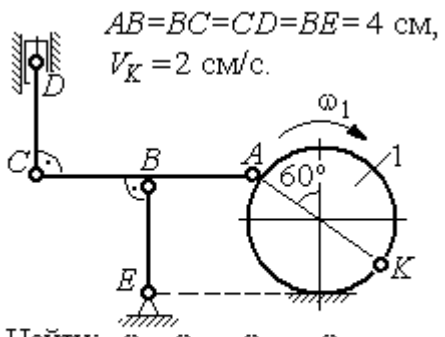
Упражнение 2.4



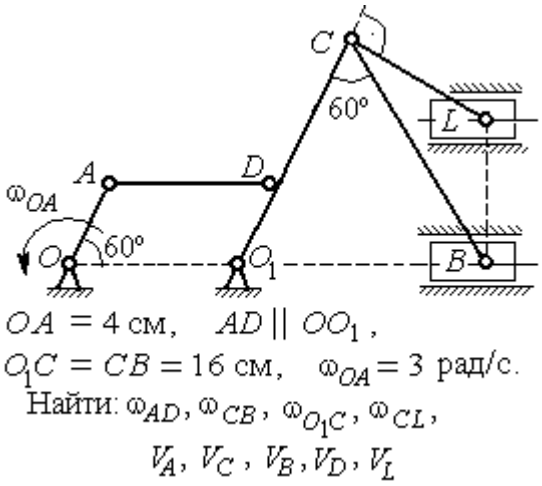
$\omega_{OA} = 2$ рад/с, $\omega_1 = 6$ рад/с,
$r_1 = 3$ см, $r_2 = 6$ см.
Найти: $\omega_2, \omega_{DC}, V_B, V_K, V_D, V_C$

Рис. 2.23. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.3, 2.4

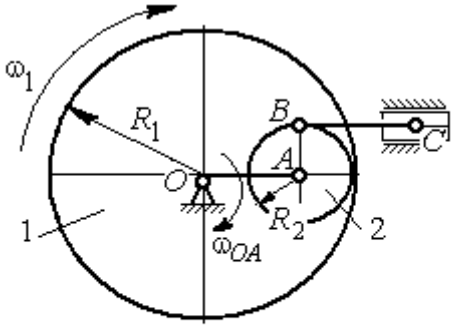
Упражнение 2.5



Упражнение 2.6



Упражнение 2.7



Упражнение 2.8

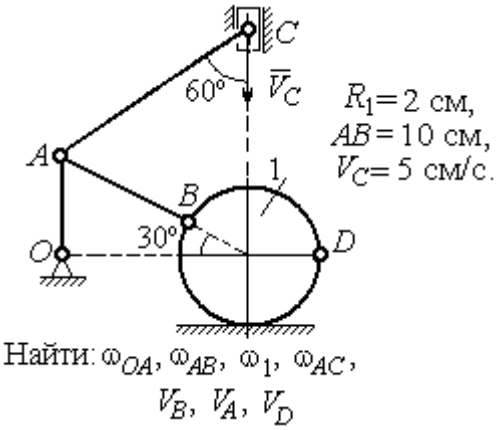


Рис. 2.24. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.5 – 2.8

2.4. Ускорения точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела

Ускорение любой точки M плоской фигуры при плоскопараллельном движении твердого тела представляется как сумма векторов $\vec{a}_M = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{MA} + \vec{a}^{n}_{MA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса A; $\vec{a}^{\tau}_{MA}$, $\vec{a}^{n}_{MA}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки M при вращении фигуры вокруг полюса A (рис. 2.25).

Вектор нормального ускорения $\vec{a}^{n}_{MA}$ всегда направлен от точки M к полюсу A. Вектор касательного ускорения $\vec{a}^{\tau}_{MA}$ направлен перпендикулярно отрезку AM в сторону вращения, если оно ускоренное (см. рис. 2.25, *a*), и против вращения, если оно замедленное (см. рис. 2.25, *b*). Величины касательного и нормального составляющих ускорения точки M определяются по формулам: $a^{\tau}_{MA} = \varepsilon \cdot AM$; $a^{n}_{MA} = \omega^2 \cdot AM$, где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела (плоской фигуры); AM – расстояние от точки M до полюса A.

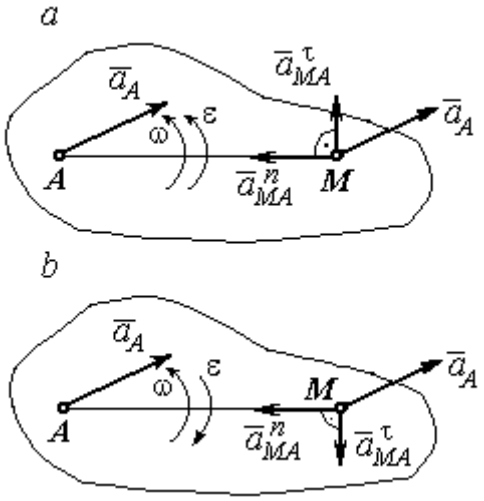


Рис. 2.25. Ускорение точки плоской фигуры:
a – ускоренное движение;
b – замедленное движение

Если при движении плоской фигуры известны траектории движения полюса A и точки M, то для определения ускорения точки M используется векторное равенство $\vec{a}^{\tau}_{M} + \vec{a}^{n}_{M} = \vec{a}^{\tau}_{A} + \vec{a}^{n}_{A} + \vec{a}^{\tau}_{MA} + \vec{a}^{n}_{MA}$, где $\vec{a}^{\tau}_{M}$, $\vec{a}^{n}_{M}$, $\vec{a}^{\tau}_{A}$, $\vec{a}^{n}_{A}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки M и полюса A при движении их по заданным траекториям.

Примеры решения задач на определение ускорений точек

Задача 32. Поршень D гидравлического пресса приводится в движение шарнирно-рычажным механизмом $OABD$. В положении механизма, указанном на рис. 2.26, точка L рычага имеет скорость V_L = 0,6 м/с и ускорение a_L = 0,5 м/с^2. Длина рычага $OA = 2 \cdot AL$ = 0,6 м, длина звена AB = 0,4 м. Определить скорость и ускорение поршня D, угловую скорость и ускорение звена AB.

Решение

Найдём угловую скорость рычага OL: $\omega_{OL} = \dfrac{V_L}{OL} = \dfrac{2}{3}$ рад/с.

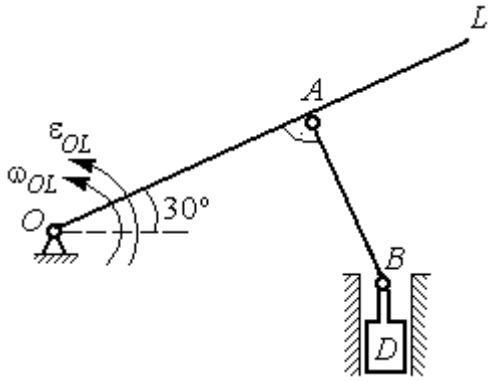


Рис. 2.26. Шарнирно-рычажный механизм гидравлического пресса

Ускорение точки L представляется в виде суммы векторов нормального и касательного ускорений: $\vec{a}_L = \vec{a}_L^{\,\tau} + \vec{a}_L^{\,n}$ (рис. 2.27). Модуль нормального ускорения точки L $a_L^n = \omega_{OL}^2 \cdot OL = 0{,}4$ м/с^2. Модуль её касательного ускорения и угловое ускорение рычага, соответственно, равны:

$$a_L^{\tau} = \sqrt{a_L^2 - (a_L^n)^2} = 0{,}3 \text{ м/с}^2, \quad \varepsilon_{OL} = \frac{a_L^{\tau}}{OL} = \frac{1}{3} \text{ рад/с}^2.$$

Скорость $\vec{V}_A$ точки A перпендикулярна рычагу OL и направлена в сторону вращения рычага. Её модуль $V_A = \omega_{OL} \cdot OA = 0{,}4$ м/с. Скорость $\vec{V}_B$ точки B направлена вертикально вверх вдоль линии движения поршня. Направления векторов скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ показаны на рис. 2.27. Точка P_1 – пересечения перпендикуляров, восстановленных к векторам скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_B$ - определяет положение мгновенного центра скоростей звена AB. Расстояние $AP_1 = P_1B \cdot \cos 30^\circ = 0{,}4\sqrt{3}$ м.

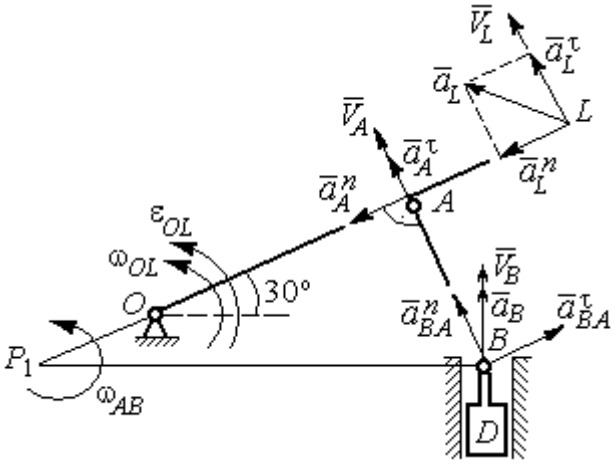


Рис. 2.27. Расчётная кинематическая схема механизма

Угловая скорость звена AB $\omega_{AB} = \dfrac{V_A}{P_1A} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$ рад/с.

Представим ускорение точки *B* через полюс *A*: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса *A*; $\vec{a}^{\tau}_{BA}$, $\vec{a}^{n}_{BA}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *B* при вращении звена *AB* вокруг полюса *A*. Так как траекторией точки *A* является окружность с центром в точке *O*, ускорение этой точки может быть разложено на две составляющие: $\vec{a}_A = \vec{a}^{\tau}_A + \vec{a}^{n}_A$. В результате ускорение точки *B* представляется в виде векторной суммы $\vec{a}_B = \vec{a}^{\tau}_A + \vec{a}^{n}_A + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{BA}$. Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.27.

Модули ускорений:

$$a^{n}_A = \omega^2_{OL} \cdot OA = 0{,}27 \text{ см/с}^2;\ a^{n}_{BA} = \omega^2_{AB} \cdot AB = 0{,}13 \text{ см/с}^2;$$

$$a^{\tau}_A = \varepsilon_{OL} \cdot OA = 0{,}2 \text{ см/с}^2.$$

Ускорение $a^{\tau}_{BA} = \varepsilon_{AB} \cdot AB$ остаётся неизвестной величиной, так как угловое ускорение ε_{AB} звена *AB* неизвестно.

Спроектируем векторное равенство ускорения точки *B* на оси *x*, *y*, где ось *x* проходит вдоль линии звена *AB*, ось *y* – перпендикулярна ей (рис. 2.28). Получим равенства:

$$a_B \cdot \cos 30^\circ = a^{\tau}_A + a^{n}_{BA};\ \ a_B \cdot \cos 60^\circ = -a^{n}_A + a^{\tau}_{BA}.$$

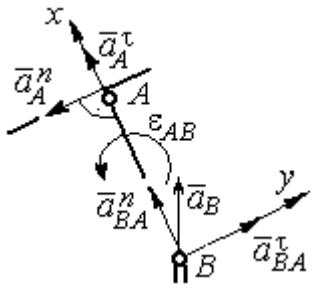


Рис. 2.28. Вычисление проекций векторов ускорений

Решая систему уравнений, находим модуль ускорения точки *B*: $a_B = 0{,}38$ см/с^2 и величину касательного ускорения: $a^{\tau}_{BA} = 0{,}46$ см/с^2. Угловое ускорение стержня *AB* $\varepsilon_{AB} = \dfrac{a^{\tau}_{BA}}{AB} = 1{,}15$ рад/с^2. Направление углового ускорения ε_{AB} звена *AB* определяется направлением вектора $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ касательного ускорения точки *B* при вращении звена вокруг полюса *A* (см. рис. 2.28).

Ускорение поршня *D* равно ускорению точки *B*: $a_D = a_B = 0{,}38$ см/с^2.

Задача 34. Колесо 1 радиуса $r_1 = 0{,}6$ м катится без скольжения по прямолинейному участку пути и приводит в движение шатун 2, соединённый шарнирно с колесом в точке B на его ободе. На другом конце шатуна в точке C к нему присоединён ползун, перемещающийся горизонтально (рис. 2.29).

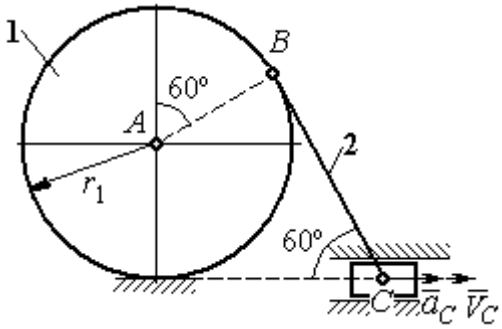


Рис. 2.29. Механизм, связывающий качение колеса с поступательным движением ползуна

В положении механизма, показанном на рис. 2.29, найти ускорение центра A колеса 1, его угловое ускорение, а также угловое ускорение шатуна 2, если заданы скорость и ускорение ползуна C: $V_C = 9$ м/с; $a_C = 4$ м/с^2.

Решение

При качении диска 1 по неподвижной поверхности точка P_1 касания его с поверхностью является мгновенным центром скоростей диска. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_1B. Восстановим перпендикуляры к скоростям $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$. Их пересечение в точке P_2 определяет положение мгновенного центра скоростей шатуна 2 (рис. 2.30).

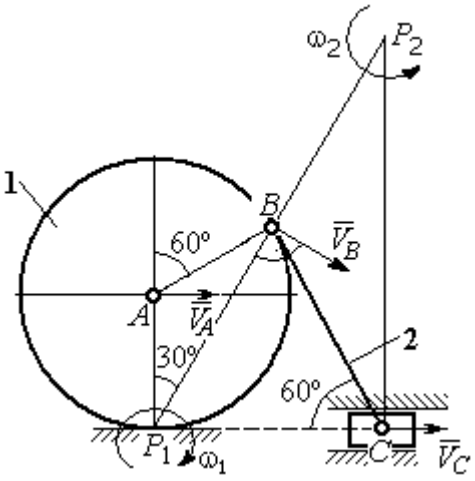


Рис. 2.30. Расчётная схема механизма для определения скоростей точек

Вычислим необходимые расстояния.

Расстояние P_1B (см. рис. 2.30) найдём из треугольника P_1AB по теореме косинусов: $P_1B = r_1\sqrt{3} = 1{,}04$ м. Из построения мгновенных центров скоростей P_1 и P_2 следует: $P_1B = BP_2 = BC$. Расстояние P_2C определяется из треугольника P_1P_2C: $P_2C = P_1P_2 \cdot \cos 30^\circ = 1{,}8$ м.

Угловая скорость шатуна 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{P_2C}$ = 5рад/с. Направление угловой скорости ω_2 определяется направлением скорости $\vec{V}_C$.

Скорость точки *B* найдём по формуле $V_B = \omega_2 \cdot P_2B$ = 5,2 м/с.

Угловая скорость диска 1 $\omega_1 = \dfrac{V_B}{P_1B}$ = 5 рад/с. Скорость центра колеса 1 $V_A = \omega_1 \cdot P_1A$ = 3 м/с.

Найдём ускорение точки *A*.

Примем точку *B* за полюс и выразим ускорение точки *A* через полюс *B*: $\vec{a}_A = \vec{a}_B + \vec{a}^{\tau}_{AB} + \vec{a}^{n}_{AB}$, где $\vec{a}_B$ – ускорение полюса *B*; $\vec{a}^{\tau}_{AB}$, $\vec{a}^{n}_{AB}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *A* при вращении диска 1 вокруг полюса *B* (рис. 2.31). Направления ускорения точки $\vec{a}_A$ и касательной составляющей ускорения $\vec{a}^{\tau}_{AB}$ точки *A* выбраны в предположении ускоренного движения диска.

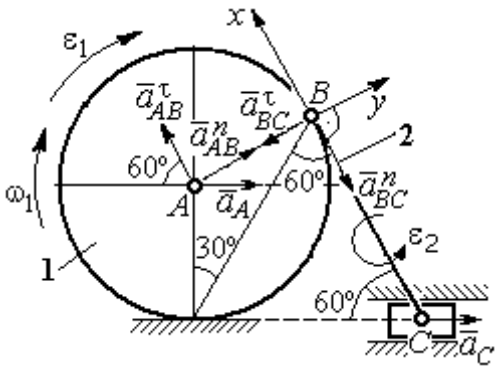


Рис. 2.31. Расчётная схема механизма для определения ускорений точек

Ускорение полюса *B* выразим через полюс *C*: $\vec{a}_B = \vec{a}_C + \vec{a}^{\tau}_{BC} + \vec{a}^{n}_{BC}$, где $\vec{a}_C$ – ускорение полюса *C*; $\vec{a}^{\tau}_{BC}$, $\vec{a}^{n}_{BC}$ – касательная и нормальная составляющие ускорения точки *B* при вращении шатуна 2 вокруг полюса *C*. Направление касательной составляющей ускорения $\vec{a}^{\tau}_{BC}$ точки *B* выбрано в направлении вращения шатуна 2 (см. рис. 2.30) исходя из предположения его ускоренного движения. В результате ускорение точки *A* выражается векторной суммой:

$$\vec{a}_A = \vec{a}^{\tau}_{AB} + \vec{a}^{n}_{AB} + \vec{a}^{\tau}_{BC} + \vec{a}^{n}_{BC} + \vec{a}_C.$$

Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.31.

Заметим, что в любой момент времени движения колеса 1 расстояние от точки A до мгновенного центра скоростей колеса P_1 остаётся постоянным, равным радиусу колеса. Дифференцируем выражение $V_A = \omega_1 \cdot P_1A = \omega_1 \cdot r_1$. Получим $\frac{dV_A}{dt} = \frac{d\omega_1}{dt} r_1 = \varepsilon_1 \cdot r_1$, откуда с учётом $\frac{dV_A}{dt} = a_A$ (прямолинейное движение точки A) угловое ускорение диска 1 $\varepsilon_1 = \frac{a_A}{r_1}$. В результате, касательное ускорение a^{τ}_{AB} точки A при вращении диска 1 вокруг полюса B $a^{\tau}_{AB} = \varepsilon_1 \cdot AB = a_A$.

Найдём модули векторов ускорений:

$$a^n_{AB} = \omega_1^2 \cdot AB = 15 \text{ м/с}^2;\ a^n_{BC} = \omega_2^2 \cdot BC = 26 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение $a^{\tau}_{BC} = \varepsilon_2 \cdot BC$ остаётся неизвестным. Применить здесь способ дифференцирования выражения $V_C = \omega_2 \cdot P_2C$ для определения углового ускорения ε_2 невозможно, так как расстояние P_2C от мгновенного центра скоростей P_2 шатуна 2 до точки C меняется во время движения механизма неизвестным образом.

Спроектируем векторное равенство ускорения точки A на оси x, y, выбранные, как показано на рис. 2.31. Получим систему уравнений:

$$\text{проекция на ось } x\text{: } -a_A \cos 60^\circ = a^{\tau}_{AB} - a^n_{BC} - a_C \cos 60^\circ;$$

$$\text{проекция на ось } y\text{: } a_A \cos 30^\circ = a^n_{AB} - a^{\tau}_{BC} + a_C \cos 30^\circ.$$

Из первого уравнения с учётом того, что $a^{\tau}_{AB} = a_A$, найдём ускорение точки A: a_A = 18,67 м/с^2. Положительное значение ускорения точки A означает, что вектор $\vec{a}_A$ направлен так, как показано на рис. 2.31, – в сторону направления вектора скорости $\vec{V}_A$. Из этого следует, что диск 1 движется ускоренно и угловое ускорение направлено в сторону его угловой скорости.

Из второго уравнения получим: $a^{\tau}_{BC} = 2{,}29$ м/с^2. Угловое ускорение шатуна 2: $\varepsilon_2 = \dfrac{\left|a^{\tau}_{BC}\right|}{BC} = 2{,}2$ рад/с^2. Из того, что касательное ускорение a^{τ}_{BC} положительно, следует, что направление вектора $\vec{a}^{\tau}_{BC}$ совпадает с направлением, указанным на рис. 2.31. Это, в свою очередь, означает, что в данном положении механизма угловое ускорение шатуна 2 направлено так, как показано на рис. 2.31, – по направлению его угловой скорости, то есть шатун 2 вращается ускоренно.

Задача 35. По неподвижной шестерне 1 радиуса r_1 обкатывается шестерня 2 радиуса r_2, насаженная в центре на кривошип OA (рис. 2.32). Кривошип OA вращается вокруг оси O с угловой скоростью ω_{OA} и угловым ускорением ε_{OA}. На ободе шестерни 2 в точке B шарнирно прикреплен стержень BC, соединенный другим концом с центром C диска 3, катящегося без скольжения вдоль горизонтальной прямой. Радиус диска 3 равен радиусу шестерни 2: $r_3 = r_2$. Для положения механизма, изображенного на рис. 2.32, определить ускорение точки D и угловое ускорение стержня BC, если $r_1 = 0{,}2$ м, $r_2 = 0{,}4$ м, $\omega_{OA} = 4$ рад/с, $\varepsilon_{OA} = 2$ рад/с^2. Длина стержня $BC = 1$ м.

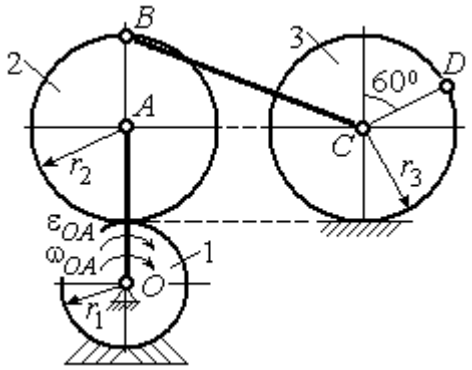


Рис. 2.32. Схема движения плоского механизма

Решение

Найдём угловые скорости звеньев механизма.

Рассмотрим вращательное движение кривошипа OA. Скорость его точки A: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 2{,}4$ м/с. Вектор скорости $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно кривошипу OA в сторону его вращения (рис. 2.33).

При качении подвижной шестерни 2 по неподвижной 1, точка их соприкосновения P_2 является мгновенным центром скоростей шестерни 2. Угловая скорость шестерни 2: $\omega_2 = \dfrac{V_A}{AP_2} = 6$ рад/с. Скорость точки *B* шестерни 2:

$V_B = \omega_2 \cdot BP_2 = 4{,}8$ м/с.

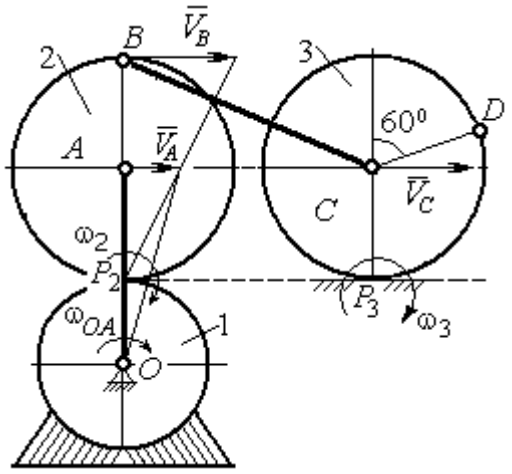


Рис. 2.33. Расчетная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Для определения угловой скорости стержня *BC* заметим, что скорости двух точек стержня $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ параллельны, но точки *B* и *C* не лежат на общем перпендикуляре к скоростям. В этом случае мгновенный центр скоростей стержня *BC* отсутствует (или бесконечно удалён), угловая скорость стержня равна нулю и стержень совершает мгновенное поступательное движение. При таком движении мгновенные скорости всех точек стержня *BC* одинаковы по величине и направлению. Таким образом, $\omega_{BC} = 0$; $V_C = V_B = 4{,}8$ м/с.

При качении диска 3 по неподвижной поверхности без проскальзывания точка P_3 касания диска с поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Угловая скорость диска 3: $\omega_3 = \dfrac{V_C}{CP_3} = 12$ рад/с. Направление угловой скорости ω_3 определяется направлением вектора $\vec{V}_C$.

Найдём ускорения точек и угловые ускорения звеньев механизма.

Выразим ускорение $\vec{a}_C$ точки *C*, направленное вдоль линии движения центра колеса 3, через полюс *B*. Ускорение представляется векторной суммой: $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,n}_{CB} + \vec{a}^{\,\tau}_{CB}$, где $\vec{a}_B$ – вектор ускорения полюса *B*; $\vec{a}^{\,n}_{CB}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{CB}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки *C* при вращении стержня *BC* вокруг полюса *B*. Вектор $\vec{a}^{\,n}_{CB}$ направлен вдоль стержня от точки *C* к

полюсу B, вектор $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ перпендикулярен стержню BC. Направление вектора $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ выбрано по предполагаемому угловому ускорению стержня BC, показанному на рис. 2.34 дуговой стрелкой ε_{CB}.

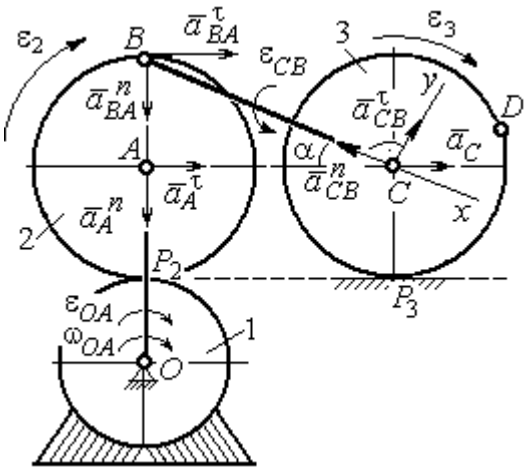


Рис. 2.34. Расчетная схема для определения ускорений точек механизма и угловых ускорений его звеньев

Рассмотрим плоскопараллельное движение шестерни 2 и выразим ускорение точки B через полюс A в виде векторного равенства: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{n}_{BA} + \vec{a}^{\tau}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение полюса A; $\vec{a}^{n}_{BA}$, $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки B при вращении шестерни 2 вокруг полюса A. Вектор $\vec{a}^{n}_{BA}$ направлен вдоль радиуса шестерни от точки B к полюсу A, вектор $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ перпендикулярен линии BA. Направление вектора $\vec{a}^{\tau}_{BA}$ соответствует ускоренному вращению шестерни 2.

Рассмотрим вращение кривошипа OA. Вектор ускорения точки A кривошипа при вращении его вокруг неподвижной оси O представляется в виде суммы: $\vec{a}_A = \vec{a}^{n}_A + \vec{a}^{\tau}_A$, где $\vec{a}^{n}_A$ и $\vec{a}^{\tau}_A$ – вектора нормальной и касательной составляющих ускорения точки A. Вектор $\vec{a}^{n}_A$ направлен вдоль кривошипа по направлению к оси вращения, вектор $\vec{a}^{\tau}_A$ перпендикулярен кривошипу и направлен в сторону углового ускорения ε_{OA} вращения кривошипа.

В результате для определения ускорения точки C имеем векторное равенство:

$$\vec{a}_C = \vec{a}^{n}_A + \vec{a}^{\tau}_A + \vec{a}^{n}_{BA} + \vec{a}^{\tau}_{BA} + \vec{a}^{n}_{CB} + \vec{a}^{\tau}_{CB}.$$

Направления всех векторов ускорений показаны на рис. 2.34.

Вычислим модули векторов, составляющих векторную сумму:

$$a_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA = 9{,}6 \text{ м/с}^2; \quad a_A^\tau = \varepsilon_{OA} \cdot OA = 1{,}2 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot BA = 14{,}4 \text{ м/с}^2; \quad a_{CB}^n = \omega_{BC}^2 \cdot BC = 0.$$

Заметим, что во время движения шестерни 2 расстояние AP_2 остается постоянным, равным r_2. Дифференцируя равенство $V_A = \omega_2 \cdot AP_2 = \omega_2 r_2$, получим: $\frac{dV_A}{dt} = \frac{d\omega_2}{dt} r_2$. При криволинейном движении точки A производная от скорости равна касательному ускорению: $\frac{dV_A}{dt} = a_A^\tau$. С учётом, что $\frac{d\omega_2}{dt} = \varepsilon_2$, получим: $a_A^\tau = \varepsilon_2 r_2$, откуда $\varepsilon_2 = \frac{a_A^\tau}{r_2} = 3$ рад/с^2 и $a_{BA}^\tau = \varepsilon_2 \cdot BA = 1{,}2$ м/с^2.

Выберем оси Cx, Cy, как показано на рис. 2.34, – вдоль отрезка BC и перпендикулярно ему и спроектируем на них векторное равенство ускорения точки C. Получим систему уравнений:

$$a_C \cos\alpha = a_A^n \sin\alpha + a_A^\tau \cos\alpha + a_{BA}^n \sin\alpha + a_{BA}^\tau \cos\alpha - a_{CB}^n;$$

$$a_C \sin\alpha = -a_A^n \cos\alpha + a_A^\tau \sin\alpha - a_{BA}^n \cos\alpha + a_{BA}^\tau \sin\alpha + a_{CB}^\tau,$$

где α – угол между стержнем BC и линией центров AC, $\sin\alpha = \frac{AB}{BC} = 0{,}4$; $\cos\alpha = 0{,}92$.

Находим из первого уравнения ускорение точки C: $a_C = 12{,}83$ м/с^2, из второго – касательное ускорение точки C при вращении стержня BC вокруг полюса B: $a_{CB}^\tau = 33{,}95$ м/с^2. Величина углового ускорения стержня BC: $\varepsilon_{CB} = \frac{\left|a_{CB}^\tau\right|}{BC} = 33{,}95$ рад/с^2. Положительное значение a_{CB}^τ означает, что вектор касательного ускорения $\vec{a}_{CB}^\tau$ направлен так, как показано на рис. 2.34. Тогда и

направление углового ускорения ε_{CB} стержня BC совпадает с направлением, показанным дуговой стрелкой на рис. 2.34.

При качении диска 3 точка C движется по прямой и расстояние CP_3 остается постоянным, равным радиусу диска 3. В этом случае равенство $V_C = \omega_3 \cdot CP_3 = \omega_3 r_3$ можно продифференцировать по времени. Получим: $\frac{dV_C}{dt} = \frac{d\omega_3}{dt} r_3$. Так как движение точки C является прямолинейным, производная от скорости точки C равна ускорению этой точки: $\frac{dV_C}{dt} = a_C$. Тогда с учётом $\frac{d\omega_3}{dt} = \varepsilon_3$ имеем равенство $a_C = \varepsilon_3 r_3$. Угловое ускорение диска 3: $\varepsilon_3 = \frac{a_C}{r_3} = 32{,}07$ рад/с^2.

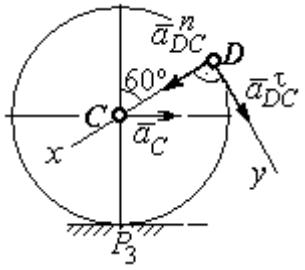


Рис.2.35. Расчетная схема для определения ускорения точки D

Выразим ускорение точки D через полюс C, ускорение которого известно и по величине, и по направлению: $\vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}^n_{DC} + \vec{a}^\tau_{DC}$, где $\vec{a}_C$ – ускорение точки C; $\vec{a}^n_{DC}$, $\vec{a}^\tau_{DC}$ – нормальное и касательное составляющие ускорения точки D при вращении диска 3 вокруг полюса C. Модули ускорений

$$a_C = 12{,}83 \text{ м/с}^2;\ a^n_{DC} = \omega_3^2 DC = 57{,}6 \text{ м/с}^2;\ a^\tau_{DC} = \varepsilon_3 DC = 12{,}83 \text{ м/с}^2.$$

Проведём оси Dx и Dy, как показано на рис. 2.34, и спроектируем векторное равенство ускорения точки D на оси. Получим систему уравнений:

$$a_{Dx} = -a_C \cos 30^\circ + a^n_{DC};\quad a_{Dy} = a_C \cos 60^\circ + a^\tau_{DC}.$$

Подставляя в уравнения проекций значения модулей ускорений, найдём: $a_{Dx} = 46{,}49$ м/с^2; $a_{Dy} = 19{,}25$ м/с^2.

Величина ускорения точки D: $a_D = \sqrt{a_{Dx}^2 + a_{Dy}^2} = 50{,}32$ м/с^2.

Заметим, что для определения ускорения точки D невозможно было сразу использовать приём с последовательным выражением ускорения точки D через ускорения полюсов C, B и A, так как в полученной в результате проекций системе двух уравнений будет три неизвестных величины - a_{Dx}, a_{Dy} и величина ускорения a_{CB}^{τ}.

Задача 36. Механизм качалки (рис. 2.36) включает в себя кривошип OA, вращающийся вокруг неподвижной оси O, шестерню 1 радиуса r_1, насаженную на кривошип в точке A и обкатывающуюся по неподвижной цилиндрической поверхности, и шатун BC, присоединённый одним концом в точке B к шестерне, а другим – в точке C к коромыслу CO_1. В положении, указанном на рис. 2.36, определить угловую скорость и угловое ускорение коромысла CO_1, если $\omega_{OA} = 2$ рад/с; $\varepsilon_{OA} = 4$ рад/с^2; $OA = 0{,}8$ м; $r_1 = 0{,}4$ м; $AB = 0{,}2$ м; $BC = 0{,}6$ м. Для этого же положения определить ускорение точки C.

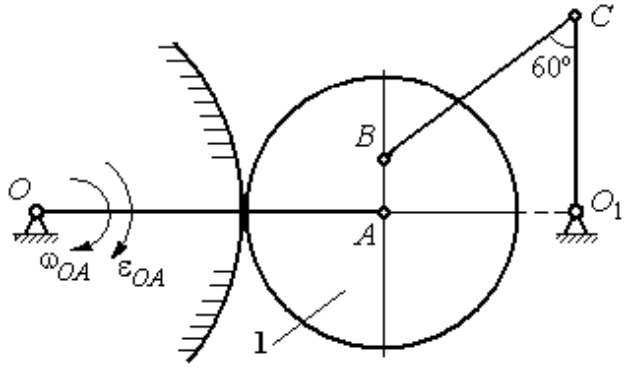


Рис. 2.36. Механизм качалки

Решение

Найдём угловые скорости звеньев механизма.

Скорость точки A кривошипа $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 1{,}6$ м/с. Вращаясь, кривошип передаёт движение шестерне 1, которая катится по неподвижной поверхности. Точка касания P_1 шестерни с неподвижной поверхностью является мгновенным центром скоростей шестерни. Тогда её угловая скорость $\omega_1 = \dfrac{V_A}{AP_1} = 4$ рад/с. Направление угловой скорости показано на рис. 2.37 дуговой стрелкой ω_1.

Расстояние от мгновенного центра скоростей шестерни до её точки B P_1B = 0,45 м. Скорость точки B: $V_B = \omega_1 \cdot P_1B =$ 1,8 м/с. Вектор скорости $\vec{V}_B$ перпендикулярен линии P_1B и направлен в сторону вращения шестерни.

При вращении коромысла CO_1 вокруг неподвижной оси O_1 вектор скорости $\vec{V}_C$ перпендикулярен коромыслу. Точка P_2, лежащая на пересечении перпендикуляров, восстановленных к векторам $\vec{V}_B$ и $\vec{V}_C$ – скоростей точек B и C, является мгновенным центром скоростей шатуна BC (рис. 2.37). Расстояние $BK = BC\cos 30^\circ = 0{,}52$ м; $\cos\alpha = \dfrac{AP_1}{BP_1} = 0{,}89$; $P_2B = \dfrac{BK}{\cos\alpha} = 0{,}58$ м. Угловая скорость шатуна $\omega_{BC} = \dfrac{V_B}{BP_2} = 3{,}1$ рад/с. Направление угловой скорости шатуна показано на рис. 2.37 дуговой стрелкой ω_{BC}.

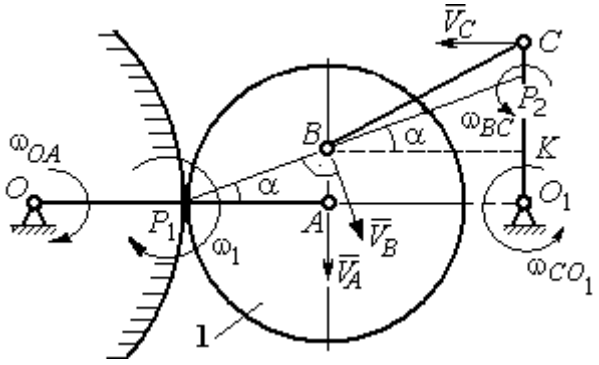


Рис. 2.37. Расчётная схема для определения угловых скоростей звеньев механизма

Расстояние $P_2C = BC \cdot \sin 30^\circ - P_2B \cdot \sin\alpha = 0{,}04$ м. Скорость точки C шатуна BC: $V_C = \omega_{BC} \cdot P_2C = 0{,}12$ м/с. Длина коромысла $CO_1 = CK + KO_1 = 0{,}5$ м, угловая скорость коромысла $\omega_{CO_1} = \dfrac{V_C}{CO_1} = 0{,}24$ рад/с.

Найдём ускорения звеньев механизма.

Считая, что точка C принадлежит шатуну BC, выразим ускорение точки C через полюс B: $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}^{\,n}_{CB} + \vec{a}^{\,\tau}_{CB}$, где $\vec{a}_B$ – ускорение полюса B; $\vec{a}^{\,n}_{CB}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{CB}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки C при вращении шатуна вокруг полюса B.

Полагая, что точка B принадлежит шестерне 1, выразим её ускорение через полюс A: $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}^{\,n}_{BA} + \vec{a}^{\,\tau}_{BA}$, где $\vec{a}_A$ – ускорение точки A шестерни; $\vec{a}^{\,n}_{BA}$

, $\vec{a}_{BA}^{\tau}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки B при вращении шестерни вокруг полюса A.

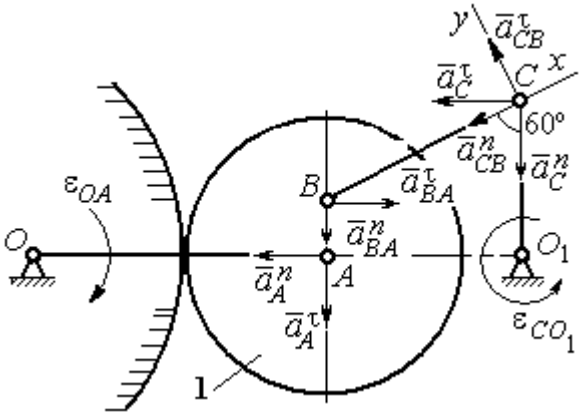


Рис. 2.38. Расчётная схема для определения ускорений точек механизма

Поскольку точка A принадлежит и кривошипу OA, а точка C – коромыслу CO_1, вращающихся вокруг своих неподвижных осей, вектора ускорений этих точек можно представить в виде сумм векторов:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_A^{\,n} + \vec{a}_A^{\,\tau},\ \vec{a}_C = \vec{a}_C^{\,n} + \vec{a}_C^{\,\tau},$$

где $\vec{a}_A^{\,n}$, $\vec{a}_A^{\,\tau}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки A при вращении кривошипа вокруг оси O; $\vec{a}_C^{\,n}$, $\vec{a}_C^{\,\tau}$ – нормальная и касательная составляющие вектора ускорения точки C при вращении коромысла вокруг оси O_1.

В результате подстановок получим полное векторное равенство, связывающее ускорения точек механизма:

$$\vec{a}_C^{\,n} + \vec{a}_C^{\,\tau} = \vec{a}_{CB}^{\,n} + \vec{a}_{CB}^{\,\tau} + \vec{a}_{BA}^{\,n} + \vec{a}_{BA}^{\,\tau} + \vec{a}_A^{\,n} + \vec{a}_A^{\,\tau}.$$

Направления векторов ускорений показаны на рис. 2.38.

Модули векторов ускорений:

$$a_C^n = \omega_{CO_1}^2 \cdot CO_1 = 0{,}03 \text{ м/с}^2;\ \ a_{CB}^n = \omega_{CB}^2 \cdot CB = 5{,}77 \text{ м/с}^2,$$

$$a_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA = 3{,}2 \text{ м/с}^2;\ a_A^{\tau} = \varepsilon_{OA} \cdot OA = 3{,}2 \text{ м/с}^2,$$

$$a_{BA}^n = \omega_1^2 \cdot BA = 3{,}2 \text{ м/с}^2;\ \ a_{BA}^{\tau} = \varepsilon_1 \cdot BA.$$

Для определения ε_1 углового ускорения шестерни 1 продифференцируем равенство $V_A = \omega_1 \cdot AP_1 = \omega_1 r_1$. Получим: $a_A^{\tau} = \varepsilon_1 r_1$, откуда $\varepsilon_1 = \dfrac{a_A^{\tau}}{r_1} = 8$ рад/с^2.

Тогда $a_{BA}^{\tau} = 1{,}6$ м/с^2.

Неизвестными в векторном равенстве ускорений остаются модули векторов $\vec{a}^{\tau}_{CB}$ и $\vec{a}^{\tau}_{C}$. Выберем ось *x* вдоль шатуна *BC*, как показано на рис. 2.38, и спроектируем на неё полное векторное равенство.

Получим уравнение:

$$-a^{n}_{C}\cos 60^{\circ} - \vec{a}^{\tau}_{C}\cos 30^{\circ} = -a^{n}_{CB} - a^{n}_{BA}\cos 60^{\circ} + a^{\tau}_{BA}\cos 30^{\circ} - a^{n}_{A}\cos 30^{\circ} - a^{\tau}_{A}\cos 60^{\circ},$$

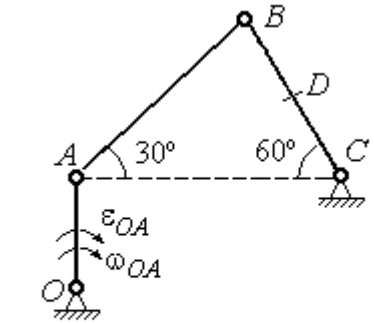
откуда найдём ускорение a^{τ}_{C} = 11,94 м/с^2. Угловое ускорение качалки

$$\varepsilon_{CO_1} = \frac{\left|a^{\tau}_{C}\right|}{CO_1} = 23{,}88 \text{ рад/с}^2.$$

Положительное значение касательного ускорения a^{τ}_{C} свидетельствует о том, что направление вектора ускорения $\vec{a}^{\tau}_{C}$ совпадает с направлением, показанным на рис. 2.38. В эту же сторону направлена и скорость $\vec{V}_C$ точки *C* (см. рис. 2.37). Следовательно, в данном положении движение качалки ускоренное и угловое ускорение направлено в сторону угловой скорости.

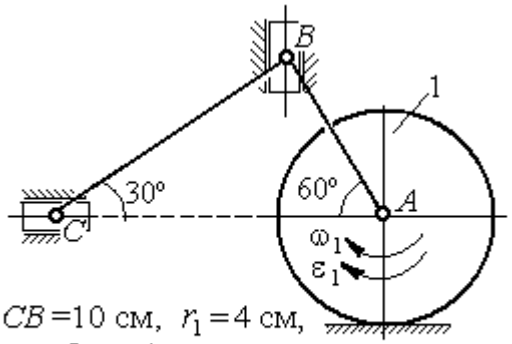
Упражнения

Упражнения 2.9



$OA = 4$ см, $BD = DC = 4$ см,
$\omega_{OA} = 3$ рад/с, $\varepsilon_{OA} = 2$ рад/с^2.
Найти ускорение точки *D*

Упражнения 2.10



$CB = 10$ см, $r_1 = 4$ см,
$\omega_1 = 3$ рад/с, $\varepsilon_1 = 2$ рад/с^2.
Найти ускорение точки *C*

Рис. 2.39. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 2.9, 2.10

3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ

3.1. Основные понятия и определения сложного движения точки

Рассматривается подвижное твердое тело и точка, перемещающаяся относительно тела.

Неподвижная система координат, относительно которой определяются движения точки и тела, называется **основной**. Связанная с телом и движущаяся вместе с ним система координат называется **подвижной.**

Движение точки относительно подвижной системы координат (фактически движение точки относительно тела) называется **относительным**. **Переносным** движением называют движение, которое совершает точка вместе с подвижной системой координат (фактически вместе с телом). Движение точки относительно основной (неподвижной) системы координат называется **абсолютным.**

Скорость точки относительно подвижной системы координат называют **относительной скоростью**, ускорение – **относительным ускорением**.

Переносной скоростью точки и **переносным ускорением** называют скорость и ускорение той точки тела, с которой в данный момент совпадает движущаяся точка.

Скорость и ускорение точки относительно основной системы называют **абсолютной скоростью и абсолютным ускорением.**

При вычислении абсолютной скорости используется теорема о сложении скоростей: **скорость абсолютного движения точки равна векторной сумме переносной и относительной скоростей:** $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$, где $\vec{V}$, $\vec{V}_e$, $\vec{V}_r$ – вектора абсолютной, переносной и относительной скоростей точки.

При вычислении абсолютного ускорения используется теорема Кориолиса о сложении ускорений: **абсолютное ускорение точки равно векторной сумме трех ускорений – относительного, переносного и ускорения Кориолиса:** $\vec{a} = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_к$, где $\vec{a}$ – вектор абсолютного ускорения точки; $\vec{a}_e, \vec{a}_r$ – вектора

соответственно переносного и относительного ускорений точки; $\vec{a}_{\text{к}}$ – вектор ускорения Кориолиса.

Вектор ускорения Кориолиса определяется векторным произведением: $\vec{a}_{\text{к}} = 2(\vec{\omega}_e \times \vec{V}_r)$, где $\vec{\omega}_e$ – вектор угловой скорости переносного движения; $\vec{V}_r$ – вектор относительной скорости точки. Модуль ускорения Кориолиса: $|\vec{a}_{\text{к}}| = 2|\vec{\omega}_e| \cdot |\vec{V}_r| \sin\alpha$, где α – угол между вектором угловой скорости переносного движения $\vec{\omega}_e$ и вектором относительной скорости точки $\vec{V}_r$ (рис. 3.1).

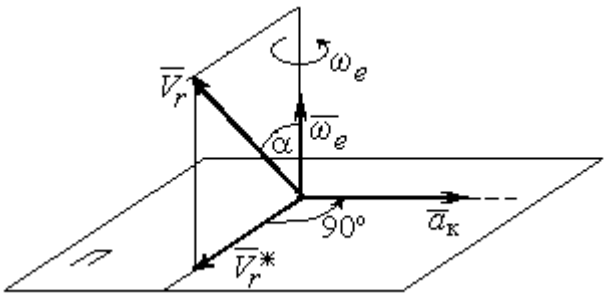


Рис. 3.1. Определение ускорения Кориолиса по правилу Жуковского

На рис. 3.1 показан способ определения вектора ускорения Кориолиса по правилу Н. Е. Жуковского. Правило состоит в следующем. Построим плоскость *П*, перпендикулярную вектору угловой скорости $\vec{\omega}_e$, и спроектируем вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ на эту плоскость. Проекцию обозначим $\vec{V}_r^*$ (см. рис. 3.1). Чтобы получить направление ускорения Кориолиса, следует вектор проекции относительной скорости $\vec{V}_r^*$ повернуть на 90° в плоскости *П* вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения.

Если сложное движение точки происходит в плоскости, перпендикулярной оси переносного вращения, направление ускорения Кориолиса можно получить простым поворотом вектора относительной скорости на угол 90° вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения. При этом модуль ускорения Кориолиса $a_{\text{к}} = 2|\omega_e| \cdot |V_r| \sin 90^\circ = 2\omega_e V_r$.

Примеры решения задач на сложное движение точки

Задача 37. Компрессор с криволинейными каналами (рис. 3.2) вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с вокруг оси *O*, перпендикулярной плоскости рисунка. Воздух перемещается по каналу *AB* с постоянной относительной скоростью $V_r = 4$ м/с. Найти ускорение частицы воздуха в начале канала в точке *A* и проекции этого ускорения на оси неподвижной системы координат *xOy*, если радиус $OA = 0{,}5$ м, радиус кривизны канала в точке *A* $\rho = 0{,}8$ м, угол между нормалью *n* к кривой *AB* в точке *A* и радиусом *OA* $\alpha = 30^\circ$.

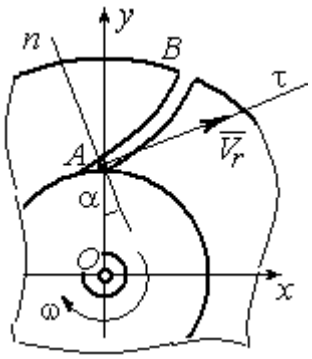


Рис.3.2. Движение воздуха по каналу компрессора

Решение

Переносным движением для частицы воздуха будет вращательное движение компрессора, а скорость точки *A* компрессора, где по условию находится частица воздуха, будет её переносной скоростью: $V_e = \omega \cdot OA = 5$ м/с. Вектор $\vec{V}_e$ переносной скорости частицы перпендикулярен радиусу *OA* и направлен в сторону угловой скорости вращения компрессора (рис. 3.3).

Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости частицы воздуха направлен вдоль касательной к кривой *AB* (стенки канала) в точке *A*.

Вектор абсолютной скорости частицы воздуха равен геометрической сумме векторов относительной и переносной скоростей: $\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$ (см. рис. 3.3). Спроектируем это векторное равенство на оси *x*, *y*. Получим систему уравнений:

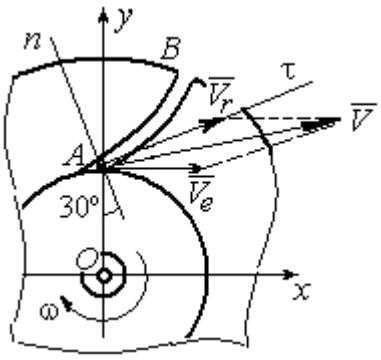


Рис. 3.3. Построение вектора абсолютной скорости частицы

$$V_x = V_e + V_r \cos 30^\circ = 8{,}46 \text{ м/с}; \; V_y = V_r \cos 60^\circ = 2 \text{ м/с}.$$

Модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 8{,}69$ м/с.

Найдём ускорение частицы воздуха.

Абсолютное ускорение частицы определяется по теореме сложения ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_к.$$

В относительном движении частица движется между стенками канала по криволинейной траектории, и её ускорение $\vec{a}_r$ представляется суммой: $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_r^{\,\tau}$, где $\vec{a}_r^{\,n}$, $\vec{a}_r^{\,\tau}$ – вектора нормальной и касательной составляющих относительного ускорения частицы.

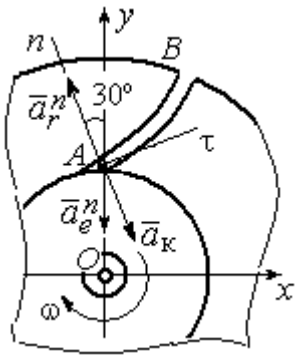


Рис. 3.4. Составляющие ускорения частицы в сложном движении

Переносное ускорение частицы $\vec{a}_e$ есть ускорение точки A вращающегося компрессора, которое выражается суммой $\vec{a}_e = \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau}$, где $\vec{a}_e^{\,n}$, $\vec{a}_e^{\,\tau}$ – вектора нормальной и касательной составляющих переносного ускорения частицы.

В результате абсолютное ускорение частицы воздуха в точке А выражается векторной суммой:

$$\vec{a} = \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_к.$$

Вычислим модули ускорений:

$$a_r^{\tau} = \dot{V}_r = 0,\ a_r^{n} = \frac{V_r^2}{\rho} = 20\ \text{м/с}^2;\ a_e^{\tau} = \varepsilon \cdot OA = \dot{\omega} \cdot OA = 0,$$

$$a_e^{n} = \omega^2 r = 50\ \text{м/с}^2;\ a_к = 2\omega V_r = 80\ \text{м/с}^2.$$

Направление ускорения Кориолиса определяется простым поворотом вектора относительной скорости на угол 90° вокруг оси переносного вращения в направлении этого вращения. Вектора ускорений показаны на рис. 3.4.

Спроектируем векторное равенство ускорения частицы на оси неподвижной системы координат *xOy*. Получим:

$$a_x = -a_r^{n}\cos 60^\circ + a_к \cos 60^\circ = 30\ \text{м/с}^2;$$

$$a_y = a_r^n \cos 30^\circ - a_e^n - a_к \cos 30^\circ = -101{,}96 \text{ м/с}^2.$$

Модуль ускорения $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 106{,}28$ м/с^2.

Задача 38. При совмещении работы механизмов подъёма груза и поворота крана (рис. 3.5) груз A перемещается в горизонтальном и вертикальном направлениях. На участке разгона барабан B радиуса $r_1 = 0{,}5$ м, на который навит канат, поддерживающий груз, вращается с постоянным угловым ускорением $\varepsilon_1 = 3$ рад/с^2, а кран разворачивается вокруг оси O_1O_2 с угловым ускорением $\varepsilon_2 = 0{,}5$ рад/с^2.

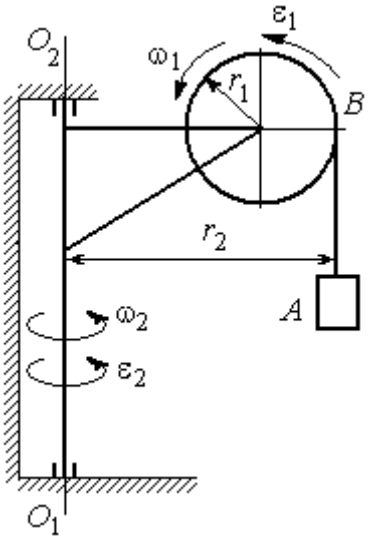


Рис. 3.5. Механизм поворотного крана

Пренебрегая отклонением каната от вертикали, определить скорость и ускорение груза в момент времени $t_1 = 1$ с, если вылет стрелы крана до линии подвеса груза $r_2 = 10$ м.

Решение

Подъём груза A на канате является для груза относительным движением, а вращение крана – переносным. Вектор абсолютной скорости груза равен сумме $\vec{V} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$, где вектора относительной $\vec{V}_r$ и переносной $\vec{V}_e$ скоростей.

При равноускоренном вращении барабана B из состояния покоя его угловая скорость $\omega_1 = \varepsilon_1 t$. В момент времени $t_1 = 1$ с $\omega_1 = 3$ рад/с. Скорость подъёма груза A в этот момент $V_r(1) = \omega_1(1) r_1 = 1{,}5$ м/с. Вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ направлен вдоль линии движения груза, в сторону его подъёма (рис. 3.6).

Угловая скорость крана при постоянном угловом ускорении $\omega_2 = \varepsilon_2 t$. При t_1 = 1 с ω_2 = 0,5 рад/с. Переносная скорость груза A равна скорости груза, движущегося вместе со стрелой крана по окружности радиуса r_2: $V_e = \omega_2 r_2$ = 5 м/с. Вектор переносной скорости груза $\vec{V}_e$ направлен по касательной к траектории переносного движения груза в сторону угловой скорости вращения крана (см. рис. 3.6).

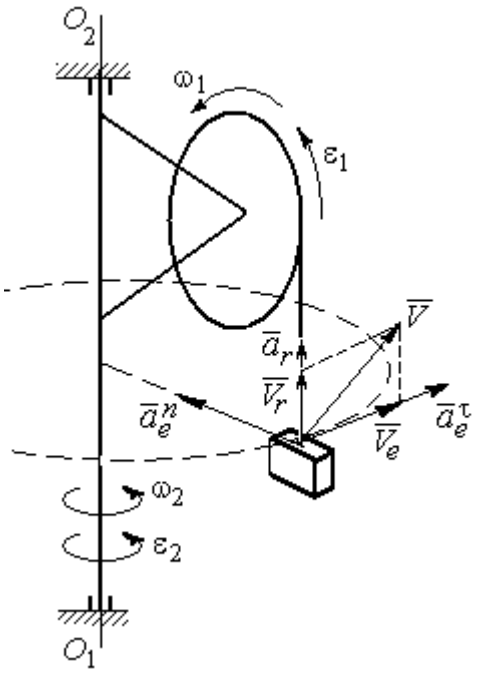


Рис. 3.6. Расчётная схема для определения скорости и ускорения груза на поворотном кране

Так как вектора относительной и переносной скоростей груза взаимно перпендикулярны, модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_r^2 + V_e^2}$ = 5,22 м/с.

Найдём абсолютное ускорение груза.

Теорема сложения ускорений имеет вид векторной суммы: $\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e + \vec{a}_к = \vec{a}_r^n + \vec{a}_r^\tau + \vec{a}_e^n + \vec{a}_e^\tau + \vec{a}_к$, где $\vec{a}_r^n$, $\vec{a}_r^\tau$, $\vec{a}_e^n$, $\vec{a}_e^\tau$, $\vec{a}_к$ – вектора нормального и касательного ускорений груза в относительном и переносном движениях и ускорение Кориолиса. Найдём модули векторов ускорений.

Нормальное относительное ускорение a_r^n груза, движущегося прямолинейно, равно нулю: a_r^n = 0, а касательное a_r^τ равно по величине касательному ускорению точки на поверхности барабана: $a_r^\tau = \varepsilon_1 r_1$ = 1,5 м/с^2. Направление вектора $\vec{a}_r^\tau$ относительного касательного ускорения груза определяется направлением углового ускорения барабана.

Переносные нормальное a_e^n и касательное a_e^τ ускорения груза: $a_e^n = \omega_2^2 r_2$ = 2,5 м/с^2; $a_e^\tau = \varepsilon_2 r_2$ = 5 м/с^2. Вектор касательного ускорения $\vec{a}_e^\tau$ направлен в сторону углового ускорения вращения крана.

Ускорение Кориолиса $a_к$ равно нулю, так как вектор $\vec{V}_r$ параллелен вектору $\vec{\omega}_2$: $a_к = 0$.

Направления векторов ускорений, модули которых отличны от нуля, показаны на рис. 3.6. В результате вектор абсолютного ускорения груза представлен в виде разложения на три взаимно перпендикулярных вектора: $\vec{a} = \vec{a}_e^n + \vec{a}_e^\tau + \vec{a}_r^\tau$, поэтому модуль абсолютного ускорения груза $a = \sqrt{(a_e^n)^2 + (\vec{a}_e^\tau)^2 + (\vec{a}_r)^2}$ = 5,79 м/с^2.

Задача 39. Фигура, состоящая из половины диска и построенного на его диаметре равнобедренного треугольника (рис. 3.7), вращается вокруг оси, перпендикулярной плоскости фигуры и проходящей через вершину A треугольника, по закону $\varphi_e = 5t - 2t^2$ рад. Положительное направление вращения отмечено на схеме дуговой стрелкой φ.

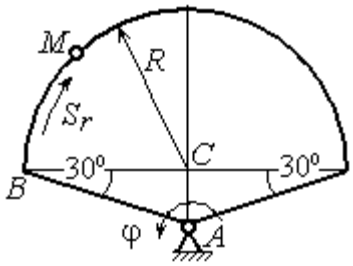


Рис. 3.7. Схема сложного движения точки

По ободу диска из начального положения B движется точка M. Уравнение движения точки: $B\breve{M} = S_r = 9\pi t^2$, см.. Положительное направление отсчёта дуги BM показано дуговой стрелкой S_r (см. рис. 3.7). Радиус диска R = 9 см. Найти абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки M в момент времени t_1 = 1 с.

Решение

Переносным движением точки M является вращение фигуры вокруг оси A, относительным – её движение по окружности обода диска.

Положение точки M на окружности определяется центральным углом: $\alpha = \frac{S_r}{R}$, где S_r – длина дуги окружности, пройденная точкой. В момент времени $t_1 = 1$ с $S_r = 9\pi$ см и $\alpha = \pi$. Расчётное положение точки M на рис. 3.8 обозначено M_1.

Угловая скорость вращения фигуры равна модулю производной $\omega_e = |\dot{\varphi}_e| = |5 - 4t|$. При $t_1 = 1$ с $\omega_e(1) = 1$ рад/с. Направление угловой скорости определяется знаком производной $\dot{\varphi}_e$. Положительная на данный момент времени величина производной ($\dot{\varphi}_e = 1$) показывает, что вращение фигуры происходит в положительном направлении отсчёта угла φ_e и отмечено на рис. 3.8 дуговой стрелкой ω_e.

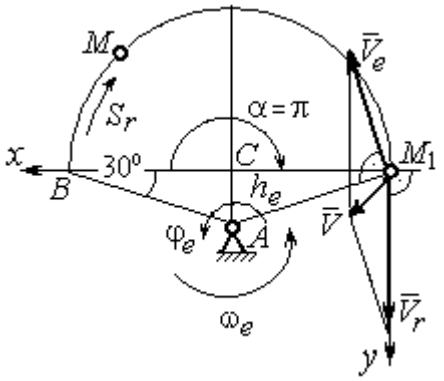


Рис. 3.8. Расчетная схема для вычисления абсолютной скорости точки

Переносная скорость точки V_e – это скорость расчётного положения точки M вращающейся фигуры: $V_e = \omega_e h_e = = \omega_e AM_1 = \frac{\omega_e R}{\cos 30^\circ} = 10{,}39$ см/с. Вектор переносной скорости точки $\vec{V}_e$ перпендикулярен отрезку AM_1 и направлен в сторону вращения фигуры (см. рис. 3.8).

Скорость точки в относительном движении определяется как модуль производной: $V_r = |\dot{S}_r| = |18\pi t|$. При $t_1 = 1$ с $V_r = 56{,}5$ см/с. Положительное значение производной $\dot{S}_r = 18\pi > 0$ указывает, что в этот момент времени относительное движение точки происходит в положительном направлении отсчёта дуги окружности, по которой движется точка. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости точки перпендикулярен отрезку CM_1 и направлен в сторону её движения.

Абсолютная скорость точки равна сумме векторов переносной и относительной скоростей $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Для того чтобы найти абсолютную скорость точки, выберем оси координат M_1x, M_1y, как показано на рис. 3.8, и спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения скоростей на эти оси:

$$V_x = V_e \cos 60^\circ = 5{,}2 \text{ см/с}, \; V_y = -V_e \cos 30^\circ + V_r = 47{,}5 \text{ см/с}.$$

Модуль абсолютной скорости: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = 47{,}8$ см/с.

Абсолютное ускорение точки определяется по теореме сложения ускорений: $\vec{a} = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_к$.

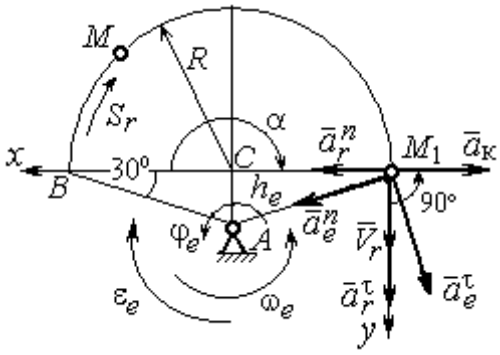


Рис. 3.9. Расчетная схема для определения абсолютного ускорения точки

Переносное ускорение точки представляется в виде суммы: $\vec{a}_e = \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n}$, где $\vec{a}_e^{\,\tau}$ и $\vec{a}_e^{\,n}$ – переносные касательное и нормальное ускорения. В относительном движении точки (по дуге окружности) ускорение также может быть разложено на две составляющие – относительные касательное и нормальное ускорения: $\vec{a}_r = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n}$. В результате теорема о сложении ускорений приобретает вид: $\vec{a} = \vec{a}_r^{\,\tau} + \vec{a}_r^{\,n} + \vec{a}_e^{\,\tau} + \vec{a}_e^{\,n} + \vec{a}_к$.

Вычислим модули и направления векторов ускорений в расчётном положении точки M_1.

Относительное касательное ускорение a_r^τ вычисляется по формуле: $a_r^\tau = \left|\ddot{S}_r\right|$, где $\ddot{S}_r = 18\pi = 56{,}5$ см/с^2. Так как значение второй производной $\ddot{S}_r$ положительно, вектор ускорения $\vec{a}_r^{\,\tau}$ направлен по касательной в сторону положительного отсчёта траектории относительного движения. Относительное

нормальное ускорение точки a_r^n вычисляется по формуле: $a_r^n = \frac{V_r^2}{R}$ и в момент t_1 = 1 с равно 355,3 см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_r^n$ направлен по радиусу диска к центру C (рис. 3.9).

Угловое ускорение фигуры в момент времени t_1 = 1 с, $\varepsilon_e = |\ddot{\varphi}_e|$ = 4 рад/с^2. Поскольку значение второй производной угла поворота отрицательное ($\ddot{\varphi}_e = -4$ рад/с^2), то угловое ускорение направлено в сторону, противоположную положительному направлению отсчёта угла поворота фигуры, как показано на рис. 3.9 дуговой стрелкой ε_e. Модуль переносного касательного ускорения a_e^τ определяется по формуле $a_e^\tau = \varepsilon_e h_e = \varepsilon_e \cdot AM_1$ и в момент времени t_1 = 1 с равен 41,6 см/с^2. Вектор переносного касательного ускорения точки $\vec{a}_e^\tau$ перпендикулярен AM_1 и направлен в сторону углового ускорения фигуры ε_e (см. рис. 3.9). Переносное нормальное ускорение вычисляется по формуле $a_e^n = \omega_e^2 h_e = \omega_e^2 \cdot AM_1$ и на момент времени t_1 = 1 с: a_e^n = 10,4 см/с^2. Вектор переносного нормального ускорения $\vec{a}_e^n$ направлен вдоль отрезка M_1A к оси вращения тела (см. рис. 3.9).

Модуль ускорения Кориолиса в момент времени t_1 = 1 с $a_к = 2\omega V_r$ = =113,1 см/с^2. По условию задачи вектор $\vec{V}_r$ скорости относительного движения точки перпендикулярен вектору $\vec{\omega}_e$ угловой скорости переносного движения. В этом случае для определения направления ускорения Кориолиса достаточно повернуть вектор относительной скорости $\vec{V}_r$ на 90° в сторону переносного движения (см. рис. 3.9).

Для определения абсолютного ускорения точки выберем оси M_1x и M_1y, как показано на рис. 3.9, и спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения ускорений на эти оси. Получим:

$$a_x = -a_e^\tau \cos 60^\circ + a_e^n \cos 30^\circ + a_r^n - a_к = 230{,}4 \text{ см/с}^2;$$

$$a_y = a_e^{\tau}\cos 30^\circ + a_e^{n}\cos 60^\circ + a_r^{\tau} = 97{,}9 \text{ см/с}^2.$$

Модуль абсолютного ускорения

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 250{,}3 \text{ см/с}^2.$$

Задача 40. Диск (рис. 3.10) вращается вокруг оси O_1O_2, проходящей вдоль вертикального диаметра, с угловой скоростью $\omega = 2t^2 + 4\cos\pi t$ рад/с. Положительное направление отсчёта угла поворота диска отмечено на схеме дуговой стрелкой φ. Вдоль другого диаметра диска, наклоненного под углом 30º к вертикальному, движется точка M по закону $CM = S_r = (4t-1)^2 - 1$ см. Расстояние отсчитывается от точки C на краю диска. Положительное направление движения точки M показано стрелкой S_r. Радиус диска R = 4 см. Найти абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки M в момент времени t_1 = 1 с.

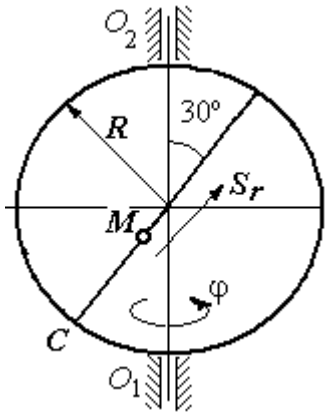


Рис. 3.10. Схема сложного движения точки

Решение

Переносным движением точки M является вращение диска вокруг вертикального диаметра, относительным – её прямолинейное движение вдоль наклонного диаметра диска.

Расстояние S_r, пройденное точкой, к моменту времени t_1 = 1 с равно 8 см. При радиусе диска R = 4 см точка M в данный момент времени находится на противоположном от точки C конце диаметра. На рис. 3.11 это положение обозначено буквой M_1.

Угловая скорость диска равна модулю производной: $\omega = |\dot{\varphi}| = |2 + 4\cos\pi|$ и при t_1 = 1 с ω = 2 рад/с. Направление угловой скорости определяется по знаку производной $\dot{\varphi}$. В данном случае производная имеет отрицательное значение ($\dot{\varphi}$ = – 2 рад/с). Это означает, что вращение диска происходит в сторону,

противоположную положительному направлению отсчёта угла поворота. Направление угловой скорости диска в данный момент времени отмечено на рис. 3.11 дуговой стрелкой ω.

Переносная скорость точки V_e – это скорость точки M_1 на вращающемся диске: $V_e = \omega h_e = \omega \cdot KM_1$, где $KM_1 = h_e$ – расстояние от оси вращения диска до точки M_1. Очевидно, $KM_1 = 0{,}5R = 2$ см. При $t_1 = 1$ с величина переносной скорости $V_e = 4$ см/с. Вектор переносной скорости $\vec{V}_e$ перпендикулярен плоскости диска $O_1M_1O_2$ и направлен в сторону вращения диска (рис. 3.11, *a*).

(На рис. 3.11, *a* символ $\odot$ рядом с вектором означает, что данный вектор направлен перпендикулярно плоскости рисунка «к нам», символ $\oplus$ – «от нас».)

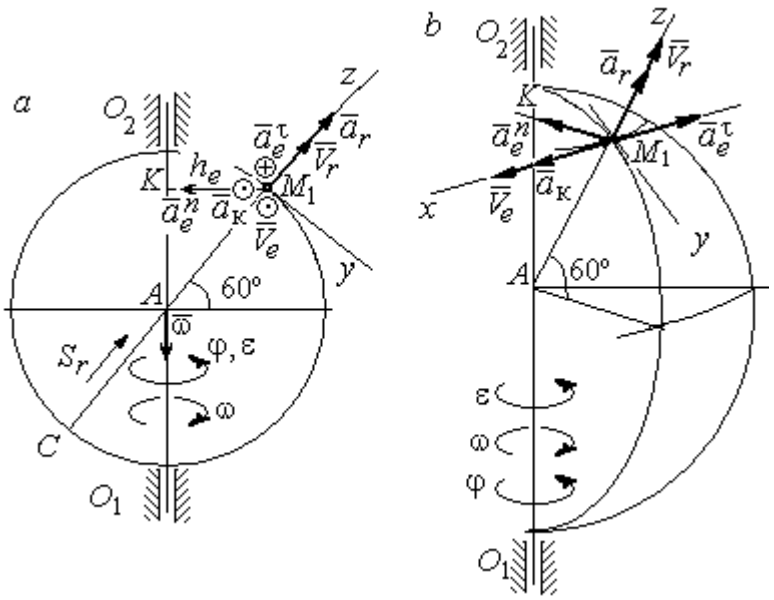


Рис. 3.11. Расчётная схема определения абсолютной скорости и ускорения точки:
a – плоская модель движения;
b – пространственная модель движения

Относительная скорость точки равна модулю производной: $V_r = \left|\dot{S}_r\right| = = \left|8(4t-1)\right|$. При $t_1 = 1$ с $V_r = 24$ см/с. Положительное значение самой производной $\dot{S}_r$ указывает, что относительное движение точки в данный момент времени происходит в положительном направлении. Вектор $\vec{V}_r$ относительной скорости точки в положении M_1 направлен вдоль диаметра диска CM_1 в сторону движения.

Абсолютная скорость точки равна сумме векторов переносной и относительной скоростей: $\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r$. Так как векторы $\vec{V}_e$ и $\vec{V}_r$ взаимно

перпендикулярны, модуль абсолютной скорости $V = \sqrt{V_e^2 + V_r^2} =$ 24,33 см/с. Вектор абсолютной скорости на рис. 3.11 не показан.

Абсолютное ускорение точки определяется векторной суммой, которая при прямолинейном относительном и вращательном переносном движениях представляется в виде: $\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e^{\tau} + \vec{a}_e^{n} + \vec{a}_{\text{к}}$.

Относительное ускорение точки $a_r = \left|\ddot{S}_r\right|$ = 32 см/с^2. Так как значение второй производной $\ddot{S}_r$ положительно, вектор ускорения $\vec{a}_r$ в точке M_1 направлен по линии движения точки в сторону положительного направления (см. рис. 3.11).

Угловое ускорение диска $\varepsilon = \left|\dot{\omega}\right| = \left|4t - 4\pi\sin\pi t\right|$. В момент времени t_1 = 1 с ε = 4 рад/с^2. Положительное значение производной в данный момент времени ($\dot{\omega}$ = 4 рад/с^2) означает, что угловое ускорение ε направлено в сторону положительного направления отсчёта угла поворота диска. Направление углового ускорения показано на рис. 3.11 дуговой стрелкой ε. Модуль переносного касательного ускорения a_e^{τ} определяется по формуле $a_e^{\tau} = \varepsilon h_e$, и при t_1 = 1 с a_e^{τ} = 8 см/с^2. Вектор ускорения $\vec{a}_e^{\tau}$ перпендикулярен плоскости диска $O_1M_1O_2$ в точке M_1 и направлен в сторону углового ускорения (противоположно вектору скорости).

Переносное нормальное ускорение a_e^{n} рассчитывается по формуле $a_e^{n} = \omega^2 h_e = \omega^2 \cdot KM_1$, и при t_1 = 1 с a_e^{n} = 8 см/с^2. Вектор переносного нормального ускорения $\vec{a}_e^{n}$ направлен вдоль отрезка M_1K к оси вращения диска (см. рис. 3.11).

Вектор скорости относительного движения точки $\vec{V}_r$ составляет с вектором угловой скорости переносного движения $\vec{\omega}$ угол 150º. Модуль ускорения Кориолиса на момент времени t_1 = 1 с $a_{\text{к}} = 2\left|\omega\right|\left|V_r\right|\sin 150^\circ =$ 48 см/с^2.

Направление вектора ускорения Кориолиса определяем по правилу Жуковского. Так, вектор относительной скорости точки $\vec{V}_r$ проектируем на плоскость, перпендикулярную вектору $\vec{\omega}$ (т. е. на плоскость, перпендикулярную оси вращения тела). На рис 3.11, *а* это будет проекция на линию KM_1. Далее следует повернуть вектор проекции относительной скорости вокруг оси вращения на 90° в сторону угловой скорости вращения диска. На рис 1.11, *а* вектор ускорения Кориолиса перпендикулярен плоскости рисунка в точке M_1 и направлен «на нас».

Для определения абсолютного ускорения точки выберем оси координат M_1x, M_1y и M_1z, как показано на рис. 3.11 (на рис. 3.11, *а* ось M_1x направлена перпендикулярно рисунку «к нам» и на рисунке не показана). Спроектируем обе части векторного равенства теоремы сложения ускорений на оси

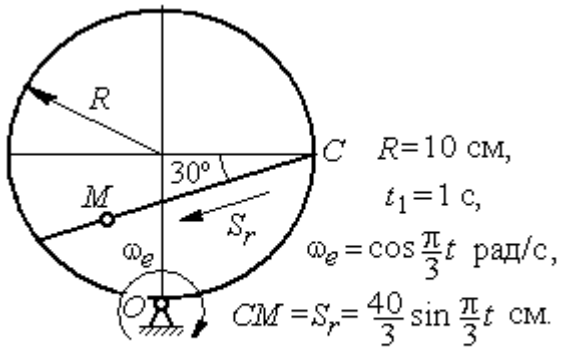
$$a_x = -a_e^{\tau} + a_{\text{к}} = 40 \text{ см/с}^2; \quad a_y = -a_e^{n}\cos 30^\circ = 6{,}93 \text{ см/с}^2;$$

$$a_z = a_r - a_e^{n}\cos 60^\circ = 28 \text{ см/с}^2.$$

Модуль абсолютного ускорения $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = 49{,}32$ см/с^2.

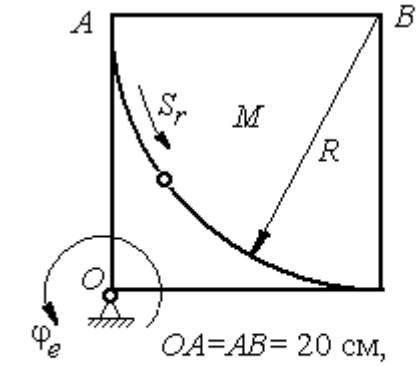
Упражнения

Упражнение 3.1



Найти скорость и ускорение точки M в момент $t = t_1$

Упражнение 3.2



$\overset{\smile}{AM} = S_r = 5\pi t^2$ см, $\varphi_e = t^2 - 5t$ рад.

Найти скорость и ускорение точки M в момент $t = t_1 = 1$ с

Рис. 3.12. Задания для самостоятельного решения. Упражнения 3.1, 3.2

4. ДИНАМИКА ТОЧКИ

4.1. Дифференциальные уравнения движения точки

Движение материальной точки под действием системы сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$,…, $\vec{F}_K$ в прямоугольной декартовой системе координат *Oxyz* описывается **дифференциальными уравнениями:**

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}, \; m\frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}, \; m\frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz}.$$

Обозначая вторые производные от координат по времени двумя точками, уравнения движения можно записать в виде:

$$m\ddot{x} = \sum F_{kx}; \; m\ddot{y} = \sum F_{ky}; \; m\ddot{z} = \sum F_{kz},$$

где m – масса точки; x, y, z – текущие координаты точки; $\ddot{x}$, $\ddot{y}$, $\ddot{z}$ – проекции вектора ускорения точки на оси координат; $\sum F_{kx}$, $\sum F_{ky}$, $\sum F_{kz}$ – алгебраические суммы проекций всех сил на оси координат.

Для удобства интегрирования дифференциальные уравнения движения иногда представляют в виде:

$$m\frac{dV_x}{dt} = \sum F_{kx}; \; m\frac{dV_y}{dt} = \sum F_{ky}; \; m\frac{dV_z}{dt} = \sum F_{kz},$$

где $V_x = \dot{x}$, $V_y = \dot{y}$, $V_z = \dot{z}$ – проекции вектора скорости точки на оси координат.

В естественной системе координат движение материальной точки описывается уравнениями в естественной форме:

$$m\frac{dV}{dt} = \sum F_{k\tau}; \; m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_{kn}; \; 0 = \sum F_{kb},$$

где ρ – радиус кривизны траектории; τ, n, b – оси естественного трехгранника – касательная, нормаль и бинормаль.

В общем случае правые части дифференциальных уравнений зависят от времени, положения и скорости точки. Интегрирование дифференциальных уравнений производится в зависимости от их вида методами, известными из курса математики.

Примеры решения задач на интегрирование уравнений движения

Задача 41. При обогащении по трению разделение частиц производится следующим образом. Барабанный питатель (рис. 4.1) сообщает частице в точке A сортировочного стола AB начальную скорость V_0, направленную вдоль поверхности стола, наклоненного под углом α к горизонту. Нижний край стола в точке B поднят на высоту h над уровнем пола. Частица скользит по столу, испытывая силу трения скольжения с коэффициентом трения f. Дойдя до края стола в точке B, частица отрывается от него и совершает свободное падение с высоты h. На каком расстоянии $CK = \ell$ на полу нужно установить стенку приёмного устройства, чтобы частицы с коэффициентом трения меньше заданного $f < f_1$ перелетали за точку C и попадали в приёмник, а с большим коэффициентом $f > f_1$ – не долетали до него.

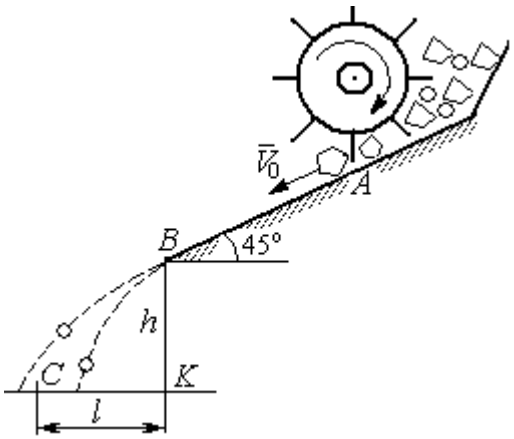


Рис. 4.1. Разделение частиц по трению

Начальная скорость частицы $V_0 = 1$ м/с, длина сортировочного стола $AB = S = 1{,}2$ м, угол наклона $\alpha = 45°$, высота точки отрыва $BK = h = 1{,}5$ м, заданный коэффициент трения для разделения частиц $f_1 = 0{,}4$.

Решение

Из условия задачи следует, что частица с коэффициентом трения, равным заданному, $f = f_1$ в конце своего движения (скольжение по столу + свободное падение) должна попасть ровно в точку C (см. рис. 4.1).

Рассмотрим первый участок движения такой частицы – прямолинейное движение по шероховатой поверхности наклонного стола. На частицу действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Выберем систему

координат *xAy*, направив ось *x* вдоль линии движения, а ось *y* – перпендикулярно ей (рис. 4.2). Движение частицы описывается уравнениями:

$$m\ddot{x} = \sum F_{kx} = P\cos 45^\circ - F_{\text{тр}};\ m\ddot{y} = \sum F_{ky} = -P\cos 45^\circ + N.$$

Поскольку вдоль оси *y* частица не перемещается, то $\ddot{y} = 0$. Тогда второе уравнение движения представляется в виде: $-P\cos 45^\circ + N = 0$, откуда реакция опоры частицы $N = mg\cos 45^\circ$. Сила трения, которую испытывает частица, двигаясь по сортировочному столу: $F_{\text{тр}} = fN = fmg\cos 45^\circ$, где f – коэффициент трения.

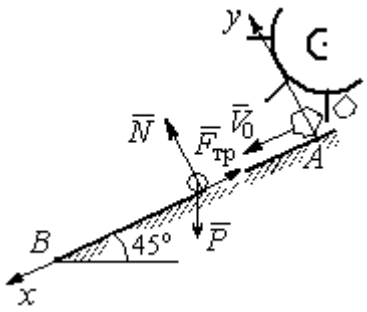


Рис. 4.2. Движение частицы по наклонной плоскости

Подставляя в уравнение движения частицы, выражение силы трения и полагая ускорение $\ddot{x} = \dfrac{dV_x}{dt}$, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dV_x}{dt} = g(1 - f)\cos 45^\circ \text{ или при } f = f_1 = 0{,}4:\ \frac{dV_x}{dt} = 4{,}18.$$

После интегрирования найдём скорость и закон движения частицы как функции времени: $V_x = 4{,}18t + C_1;\ x = 2{,}09t^2 + C_1 t + C_2$.

Константы интегрирования C_1, C_2 находятся из начальных условий движения. Подставляя начальные условия $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = V_x(0) = V_0$ в уравнение движения частицы, найдём $C_2 = 0$, $C_1 = V_0$.

Окончательно движение частицы на прямолинейном участке *AB* сортировочного стола описывается системой уравнений: $V_x = 4{,}18t + 1$; $x = 2{,}09t^2 + t$.

Допустим частица достигает края стола *B* в момент времени $t = t_B$. Её координата равна длине сортировочного стола: $x(t_B) = S$, а скорость равна скорости отрыва её от стола: $V_x(t_B) = V_B$. Подставим эти условия в уравнения

движения, получим систему: $V_B = 4{,}18t_B + 1$, $S = 2{,}09t_B^2 + t_B$, откуда скорость частицы в точке отрыва её от стола $V_B = \sqrt{1 + 8{,}36S}$. При длине стола S = 1,2 м скорость отрыва V_B = 3,32 м/с.

Рассмотрим участок BC свободного падения частицы, брошенной с высоты h с начальной скоростью V_B, направленной под углом 45° к горизонту (рис. 4.3). В полёте на частицу действует только сила тяжести $\vec{P}$. Выберем прямоугольную систему координат xKy с началом координат в точке K (см. рис. 4.3). Дифференциальные уравнения движения точки

$$m\ddot{x} = 0;\ m\ddot{y} = -P = -mg \text{ или } \ddot{x} = 0,\ \ddot{y} = -g.$$

Интегрируя первое уравнение, получим, что движение частицы вдоль оси x описывается уравнениями $\dot{x} = C_3$; $x = C_3 t + C_4$. Константы интегрирования C_3 и C_4. определяются из начальных условий движения: при t = 0, $x(0) = 0$, $\dot{x}(0) = V_{Bx}$, где V_{Bx} – проекция вектора скорости $\overline{V}_B$ на ось x, V_{Bx} = $V_B \cos 45^\circ$ = 2,35 м/с. После подстановки начальных условий в уравнение движения частицы получим: C_4 = 0, C_3 = 2,35. В результате, движение частицы вдоль оси x при её свободном падении описывается уравнением $x = 2{,}35t$.

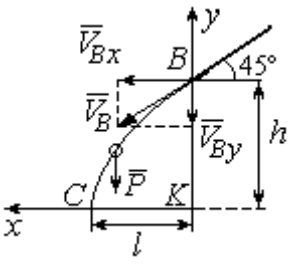


Рис. 4.3. Свободное падение частицы

Проинтегрируем уравнение движения частицы в направлении оси y. Получим: $\dot{y} = -gt + C_5$ и $y = -g\dfrac{t^2}{2} + C_5 t + C_6$. Начальные условия движения частицы вдоль оси y: при t = 0, $y(0) = h$ = 1,5 м, $\dot{y}(0) = V_{By} = -V_B \cos 45^\circ = -2{,}35$ м/с, где V_{By} – проекция вектора скорости $\overline{V}_B$ на ось y. Подставляя начальные условия в уравнение движения, найдём: $C_6 = h$; $C_5 = V_{By} = -2{,}35$. Таким образом, движение частицы вдоль оси y при её свободном падении описывается уравнением $y = -4{,}91t^2 - 2{,}35t + 1{,}5$.

В момент $t = t_{\text{п}}$ падения частицы на пол её вертикальная координата обращается в нуль: $y = 0$, а горизонтальная – равна дальности полёта: $x = \ell$. Подставляя эти условия в уравнения движения частицы, получим систему:

$$\ell = 2{,}35t_{\text{п}},\ 0 = -4{,}91t_{\text{п}}^2 - 2{,}35t_{\text{п}} + 1{,}5.$$

Исключая в системе время $t_{\text{п}}$, выразим уравнение для определения дальности горизонтального полёта: $\ell^2 + 1{,}12\ell - 1{,}68 = 0$. Отсюда находим: $\ell = 0{,}85$ м.

Таким образом, частицы с коэффициентом трения $f = 0{,}4$ в конце своего движения падают на горизонтальную поверхность на расстоянии 0,85 м от края стола. Очевидно, именно здесь необходимо установить разделительную стенку приёмного устройства. Частицы с меньшим коэффициентом трения ($f < 0{,}4$) будут улетать за стенку, а при большем ($f > 0{,}4$) – недолетать. К примеру, длина горизонтального полёта частицы с коэффициентом трения $f = 0{,}3$ составляет 0,89 м, а при $f = 0{,}5$ равна 0,61 м.

Задача 42. Материальная точка массой $m = 1$ кг движется прямолинейно по горизонтальной поверхности под действием силы $F = 10 - kt$ Н, где k – коэффициент пропорциональности; $k = \text{const}$; t – время в секундах. Определить величину коэффициента k, при котором скорость точки за первую секунду от начала движения увеличится от начального значения $V_0 = 2$ м/с до величины $V_1 = 10$ м/с, а также путь, пройденный точкой до остановки.

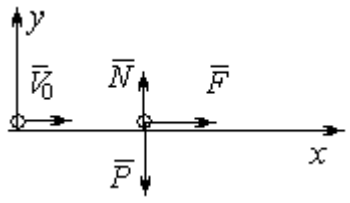


Рис. 4.4. Прямолинейное движение точки

Решение

Для описания движения точки выберем прямоугольную систему координат x, y с началом в том месте, откуда точка начала движение (рис. 4.4).

На точку действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция опоры $\vec{N}$ и заданная сила $\vec{F}$. Направление силы $\vec{F}$ на рис. 4.4 соответствует начальному этапу движения,

когда проекция силы на ось x положительная. Движение точки описывается уравнением $m\ddot{x} = F_x = 10 - kt$.

Положим $\ddot{x} = \frac{dV}{dt}$. Здесь в силу того, что движение происходит только вдоль одной координаты, индекс x у скорости опущен. Учитывая массу точки, получим уравнение $\frac{dV}{dt} = 10 - kt$. Разделив переменные и проинтегрировав полученное уравнение, найдём закон изменения скорости точки $V = 10t - k\frac{t^2}{2} + C_1$. Выражая скорость через производную от координаты $V = \frac{dx}{dt}$, получим дифференциальное уравнение $\frac{dx}{dt} = 10t - k\frac{t^2}{2} + C_1$, интегрируя которое, найдём уравнение движения точки $x = 5t^2 - k\frac{t^3}{6} + C_1 t + C_2$.

Подставляя начальные условия (при t = 0, $V = V_0$ = 2 м/с, $x = 0$) в уравнения, получим: C_1 = 2, C_2 = 0. Окончательно движение точки описывается системой уравнений: $V = 10t - k\frac{t^2}{2} + 2$; $x = 5t^2 - k\frac{t^3}{6} + 2t$.

Известно, что через 1 с от начала движения точка приобрела скорость V_1 = 10 м/с. Подставляя это условие в первое уравнение, найдём k = 4.

В момент t_1 точка остановилась и её скорость обращается в нуль: $V(t_1)$ = 0, а координата равна пройденному пути: $x(t_1) = S$. Подставляя эти условия в уравнения движения с учетом вычисленного значения коэффициента k, получим систему: $0 = 10t_1 - 2t_1^2 + 2$; $S = 5t_1^2 - \frac{2}{3}t_1^3 + 2t_1$, откуда находим путь, пройденный точкой до остановки: S = 51,86 м .

Задача 43. Материальная точка массой m = 1 кг, находясь на высоте h_1 = 2 м над уровнем Земли, подброшена вертикально вверх (ось x) с начальной скоростью V_0 = 4 м/с (рис. 4.5, *а*). При движении на точку действует сила

сопротивления, пропорциональная квадрату скорости, так, что проекция её на вертикаль направлена в сторону, противоположную движению, $R_x = -0{,}5mV^2$ Н, где V – скорость точки. Определить, на какой высоте h_2 от уровня Земли скорость падающей обратно точки достигнет значения начальной стартовой скорости.

Решение

Решение задачи осуществляется в два этапа. На первом этапе рассматривается движение точки вверх с высоты h_1 с начальной скоростью V_0 и определение максимальной высоты полёта H, на втором этапе – падение точки вниз с высоты H без начальной скорости (рис. 4.5, *b*).

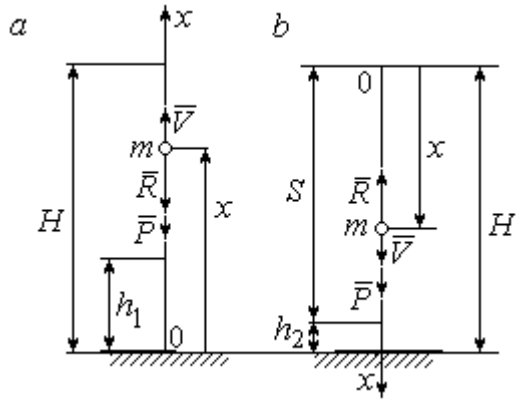


Рис. 4.5. Силы, действующие на точку в полёте:
a – движение точки вверх;
b – движение точки вниз

Рассмотрим первый этап движения и найдём максимальную высоту подъёма точки. На рис. 4.5, *a* показаны силы, действующие на точку в полёте: сила тяжести $\vec{P}$ и сила сопротивления $\vec{R}$. Ось *x*, вдоль которой происходит движение точки, выбрана по направлению движения, начало координат – на уровне Земли (см. рис. 4.5, *a*).

Дифференциальное уравнение движения точки в проекции на ось *x*: $m\ddot{x} = \sum F_x = P_x + R_x$, где проекции сил тяжести и сопротивления на ось *x*: $P_x = -P = -mg$; $R_x = -0{,}5mV^2$. Полагая $\ddot{x} = \dfrac{dV}{dt}$, получим уравнение движения точки в виде: $\dfrac{dV}{dt} = -(g + 0{,}5V^2)$.

Учитывая, что $\frac{dV}{dt}=\frac{dV}{dx}\frac{dx}{dt}=V\frac{dV}{dx}=\frac{dV^2}{2dx}$, исходное уравнение движения представляется в виде, удобном для интегрирования: $\frac{dV^2}{g+0{,}5V^2}=-2dx$.

Проинтегрировав это уравнение, находим: $\ln(g+0{,}5V^2)=-x+C$.

В начальном положении, т. е. при $t = 0$, точка находилась на высоте $x = h_1$, а скорость её $V = V_0$. Подставив эти значения в проинтегрированное уравнение, получим: $C=h_1+\ln(g+0{,}5V_0^2)$. Окончательно положение точки в полёте определяется выражением $x=h_1+\ln\left(\frac{g+0{,}5V_0^2}{g+0{,}5V^2}\right)$.

При максимальном подъёме точки, т. е. при $x=H$, её скорость обращается в нуль: $V = 0$. Подставляя H, получим: $H=h_1+\ln\left(1+\frac{V_0^2}{2g}\right)$. При начальной скорости $V_0 = 4$ м/с, с учётом высоты точки старта $h_1 = 2$ м, высота подъёма точки относительно уровня Земли $H = 2{,}6$ м.

Рассмотрим второй этап решения задачи – движение точки вниз с максимальной высоты H без начальной скорости. Выберем ось x по направлению движения и поместим начало координат в точке, откуда началось движение вниз (рис. 4.5, *b*). Дифференциальное уравнение движения падающей точки: $m\frac{dV}{dt}=P_x+R_x=mg-0{,}5mV^2$, которое, как и в предыдущем случае, приводится к виду: $\frac{dV^2}{g-0{,}5V^2}=2dx$.

Проинтегрировав это уравнение, находим: $\ln(g-0{,}5V^2)=-x+C_1$.

В начальном положении, т. е. при $t = 0$, координата точки и скорость равны нулю: $x = 0$, $V = 0$. Подставив эти значения, находим: $C_1=\ln g$.

Окончательно положение падающей точки определяется выражением $x = \ln\left(\frac{g}{g - 0{,}5V^2}\right)$.

Расстояние S, которое пролетела точка с высоты H, приобретя скорость, V_0: $S = \ln\left(\frac{g}{g - 0{,}5V_0^2}\right)$. Высота h_2 этого положения от уровня Земли: $h_2 = H - S$ (см. рис. 4.5, *b*). С учётом величины начальной скорости V_0 = 4 м/с, максимальной высоты подъёма точки H = 2,6 м высота h_2 = 0,91 м.

Задача 44. Точка 1 движется горизонтально с постоянной скоростью V_1 на высоте h. Точка 2 массой m_2 находится в начале координат (рис. 4.6).

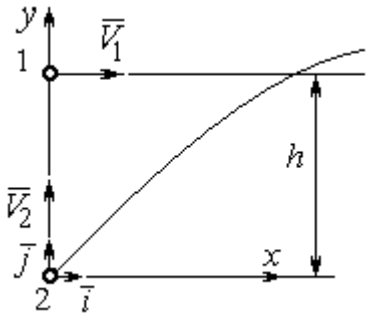


Рис. 4.6. Схема встречного движения точек

В момент, когда обе точки находились на одной вертикали y, точка 2 стартовала вертикально вверх со скоростью V_2. В полёте на точку 2 действует отклоняющая сила $\vec{F}_2$, которая представлена в виде разложения по единичным векторам $\vec{i}$, $\vec{j}$ системы координат xy: $\vec{F}_2 = p\vec{i} + q\vec{j}$, где p, q – const. С какой скоростью V_2 должна стартовать точка 2, чтобы обе точки встретились.

Решение

Рассмотрим движение точки 2. На точку действует сила тяжести $\vec{P}_2$ и сила $\vec{F}_2$, проекции которой на оси x, y: $F_{2x} = p$, $F_{2y} = q$ (рис. 4.7).

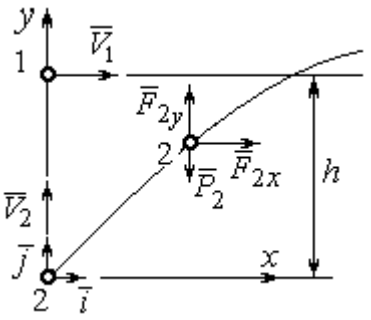


Рис. 4.7. Расчётная схема встречи точек

Уравнения движения точки в проекциях на оси xy имеют вид:

$$m_2\ddot{x} = p,\ m_2\ddot{y} = q - m_2 g.$$

Дважды интегрируя первое уравнение, получим: $\dot{x} = \frac{p}{m_2}t + C_1$; $x = \frac{p}{2m_2}t^2 + C_1 t + C_2$.

Константы интегрирования найдём из условия, что в начальный момент вторая точка стартовала из начала координат вертикально, то есть при $t = 0$ $x = 0$ и $\dot{x} = V_{2x} = 0$. Подставляя начальные условия в уравнения движения, получим: $C_1 = 0$, $C_2 = 0$. Таким образом, движение точки 2 вдоль оси x описывается уравнением $x = \frac{p}{2m_2}t^2$.

Аналогично, дважды интегрируя второе уравнение движения, получим зависимость скорости движения точки 2 от времени и закон её движения вдоль оси y: $\dot{y} = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)t + C_3$; $y = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t^2}{2} + C_3 t + C_4$. Из начальных условий: при $t = 0$ $y = 0$, $\dot{y} = V_{2y} = V_2$ следует: $C_3 = V_2$, $C_4 = 0$.

В результате закон движения точки 2 вдоль оси y: $y = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t^2}{2} + V_2 t$.

Обозначим t_1 – время движения точек до встречи. В момент встречи высота точки 2 $y(t_1) = h$, а расстояние по горизонтали, которое прошла точка 2 до встречи, должно быть равно расстоянию, пройденному точкой 1 за это же время. Подставляя условия встречи в уравнения движения, получим систему:

$$V_1 t_1 = \frac{p}{2m_2}t_1^2; \quad h = \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t_1^2}{2} + V_2 t_1,$$

откуда найдём: $V_2 = \frac{h}{t_1} - \left(\frac{q}{m_2} - g\right)\frac{t_1}{2}$, где $t_1 = \frac{2V_1 m_2}{p}$.

Упражнения

Упражнение 4.1. Тело массы m = 2 кг поднимается по прямой по шероховатой поверхности, составляющей угол 30° с горизонтом. Коэффициент трения f = 0,4. На тело действует сила $F = kt + 0{,}5P$, направленная в сторону движения, параллельно плоскости. Определить величину коэффициента k и начальную скорость тела, направленную вверх по наклонной плоскости, если за первую секунду тело прошло путь S = 2 м, а скорость увеличилась вдвое относительно начальной.

Упражнение 4.2. Материальную точку массы m = 1 кг, находящуюся на высоте H = 10 м над уровнем Земли, бросили под углом φ = 30° к горизонту с начальной

скоростью V_0. Свободное движение точки происходит в вертикальной плоскости. Определить начальную скорость V_0 и горизонтальную дальность полета l при падении точки на Землю, если высоту h =7 м она пересекла через 1 с от начала движения.

4.2. Колебания материальной точки

Если материальная точка массой m движется вдоль оси Оx под действием линейной восстанавливающей силы, равной $F = cx$, где c – постоянный коэффициент, x – отклонение точки от положения равновесия, куда поместили начало координат, то дифференциальное уравнение свободных прямолинейных колебаний имеет вид:

$$m\ddot{x} + cx = 0, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = 0,\ \omega^2 = \frac{c}{m},$$

где ω – угловая частота колебаний.

Решение дифференциального уравнения свободных колебаний представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий.

Если кроме восстанавливающей силы на материальную точку действует переменная возмущающая сила, колебания точки называются **вынужденными.** В случае гармонического возмущения $Q = H\sin pt$, где H, p – амплитуда и угловая частота возмущающей силы, дифференциальное уравнение вынужденных колебаний материальной точки относительно положения равновесия

$$m\ddot{x} + cx = H\sin pt, \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = h\sin pt,\ \omega^2 = \frac{c}{m},\ h = \frac{H}{m}$$

где ω – угловая частота собственных колебаний; h – относительная амплитуда возмущающей силы.

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения вынужденных колебаний при отсутствии резонанса (частота собственных колебаний точки не совпадает с частотой возмущающей силы $p \neq \omega$) имеет вид:

$x = C_1 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t + \dfrac{h}{\omega^2 - p^2} \sin pt$, а в случае возникновения резонанса (p = ω) определяется формулой: $x = C_1 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t - \dfrac{ht}{2p} \cos pt$. Значения произвольных постоянных C_1 и C_2 находятся с учётом начальных условий движения.

Колебания груза на двух параллельных пружинах с жесткостью c_1 и c_2 можно рассматривать как колебания груза на одной пружине с эквивалентной жесткостью $c_{экв} = c_1 + c_2$, где $c_{экв}$ – жесткость эквивалентной пружины. При последовательном соединении пружин коэффициент жесткости эквивалентной пружины $c_{экв} = \dfrac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$.

Примеры решения задач на колебания точки

Задача 45. Подъёмное устройство (рис. 4.8) опускает груз Q массой m = 400 кг в шахту при помощи упругого троса с коэффициентом жесткости $c = 8 \cdot 10^4$ Н/м с постоянной скоростью V = 10 м/с. В некоторый момент во время спуска трос защемило в блоке. Пренебрегая массой троса, определить дальнейшее движение груза и найти максимальную силу натяжения троса.

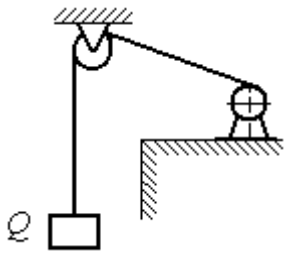


Рис. 4.8. Подъёмное устройство

Решение

После того как произошло защемление троса в обойме блока, вертикальную часть троса длиной ℓ_0 можно рассматривать как пружину с закреплённым верхним концом, а груз – материальной точкой.

Расчетная схема колебаний груза Q на пружине показана на рис. 4.9.

Ось *Ox*, вдоль которой происходят колебания груза, направлена вертикально вниз. Начало отсчёта координаты *x* (точка *O*) выбрано в положении нерастянутой пружины.

На рис. 4.9, *a* положение нерастянутой пружины соответствует положению груза на тросе в момент его защемления. В произвольном положении груза (рис. 4.9, *b*), обозначенном координатой *x*, к нему приложены две силы: сила тяжести $\vec{Q}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{\text{упр}}$. Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*: $F_{\text{упр}x} = -c\Delta\ell = -cx$, где $\Delta\ell$ – удлинение пружины. Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox* имеет вид: $m\ddot{x} = Q - cx$. В результате получаем

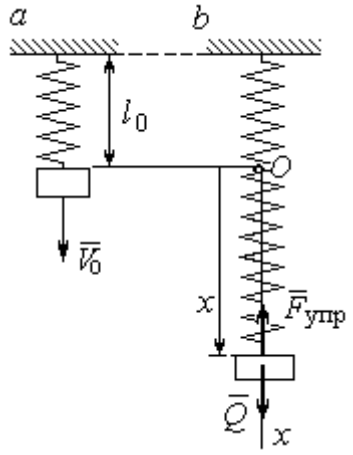


Рис. 4.9. Расчётная схема колебаний груза:
a – положение груза на начало колебаний; *b* – положение груза в произвольный момент времени

неоднородное дифференциальное уравнение колебаний:

$$m\ddot{x} + cx = mg \text{ или } \ddot{x} + \omega^2 x = g,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний, $\omega = \sqrt{\dfrac{c}{m}}$ = 14,14 рад/с.

Решение неоднородного дифференциального уравнения представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \dfrac{g}{\omega^2}$, где первые два слагаемых представляют общее решения однородного уравнения, последнее – частное решение неоднородного

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 используем начальные условия движения: при t = 0 груз находился в положении x = 0, а его скорость равнялась скорости груза $\dot{x} = V_0 =$ 10 м/с. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний, получим: $C_1 = -\dfrac{g}{\omega^2} = -$ 0,69 м. Для определения второй константы вычислим скорость

груза: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t$. Подставив начальное значение скорости груза при t = 0, получим: $C_2 = \frac{V_0}{\omega} =$ 0,71 м. Окончательно, движение груза после защемления троса в обойме блока описывается уравнением

$$x = -0{,}69\cos 14{,}14t + 0{,}71\sin 14{,}14t + 0{,}69.$$

Представим уравнение колебаний в виде $x = A\sin(\omega t + \alpha) + \frac{g}{\omega^2}$, где A – амплитуда собственных колебаний груза $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$, α – фаза колебаний; $\operatorname{tg}\alpha = \frac{C_1}{C_2}$. Максимальное растяжение троса равно максимальному значению координаты груза: $x_{\max} = \max[A\sin(\omega t + \alpha) + \frac{g}{\omega^2}] = A + \frac{g}{\omega^2} =$ 1,68 м. Соответственно, максимальное усилие в тросе равно значению силы упругости при максимальном растяжении: $F_{\text{упр max}} = cx_{\max} =$ 134,4 кН.

Задача 46. Рабочий орган вибрационной машины представляет собой массивное тело, расположенное на гладкой наклонной плоскости между двумя пружинами (см. рис. 4.10). Угол наклона плоскости к горизонту 60º. Масса груза m = 9 кг. Пружины, зажимающие груз, имеют коэффициенты жесткости c_1 = 300 Н/м и c_2 = 600 Н/м.

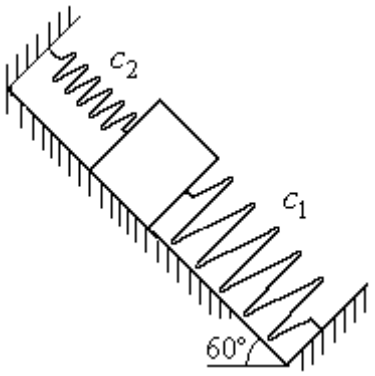


Рис. 4.10. Колебания груза на наклонной плоскости

В начальный момент груз, когда пружины не деформированы, груз оттягивают вниз по наклонной плоскости на расстояние $\Delta\ell$ = 0,12 м и отпускают без начальной скорости.

Найти период колебаний, амплитуду и уравнение движения груза.

Решение

Колебания груза, зажатого между двумя пружинами, представим как колебания груза, прикреплённого к одной пружине эквивалентной жёсткости: $c_э = c_1 + c_2$ = 900 Н/м (рис. 4.11). Ось, вдоль которой происходят колебания, направим вниз по наклонной плоскости. Начало отсчёта координаты груза *x* выберем в положении его статического равновесия (точка *O*) (см. рис. 4.11).

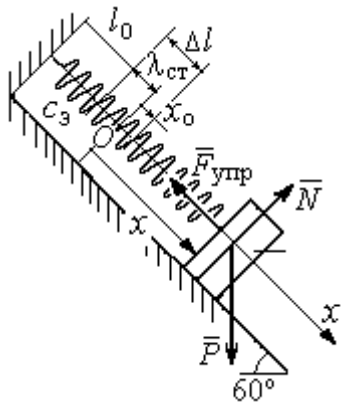


Рис. 4.11. Схема колебаний груза на эквивалентной пружине

Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*: $m\ddot{x} = P_x - F_{упр\,x}$. Проекция силы упругости пружины на ось *Ox*: $F_{упр\,x} = -c_э \Delta\ell$, где $\Delta\ell = (x + \lambda_{ст})$ – удлинение пружины, включающее её растяжение $\lambda_{ст}$ относительно положения нерастянутой пружины и растяжение *x* относительно начала координат.

Удлинение пружины $\lambda_{ст}$ определяется из условия равновесия груза на наклонной плоскости в положении статического равновесия:

$$P\cos 30^\circ - F_{упр} = 0{,}87mg - c_э\lambda_{ст} = 0.$$

Находим $\lambda_{ст} = \dfrac{0{,}87mg}{c_э}$ = 0,085 м.

Подставляя выражение силы упругости, с учётом условия статического равновесия груза ($0{,}87mg = c_э\lambda_{ст}$), получим дифференциальное уравнение колебаний: $m\ddot{x} = -c_э x$ или $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, где ω – угловая частота собственных колебаний груза, $\omega = \sqrt{\dfrac{c_э}{m}}$ = 10 рад/с.

Общее решение уравнения колебаний $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$.

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 вычислим начальные условия движения груза.

Координата начального положения груза на оси Ox (см. рис. 4.11) $x_0 = \Delta\ell - \lambda_{ст}$ = 0,035 м. Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения колебаний при t = 0, получим: $C_1 = x_0$ = 0,035 м. Для определения второй константы вычислим скорость груза: $\dot{x} = -C_1\omega_2 \sin\omega_2 t + C_2\omega_2 \cos\omega_2 t$. Подставив начальное значение скорости груза: при $t = 0$ $\dot{x} = V_0 = 0$, получим $C_2 = 0$. Окончательно уравнение движения груза относительно его положения статического равновесия $x(t) = 0{,}035\cos 10t$ м. Амплитуда колебаний A = 0,035 м. Период колебаний $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = 0{,}63$ с.

Задача 47. Пружинный амортизатор состоит из двух одинаковых вертикально стоящих пружин, к верхним концам которых прикреплена невесомая горизонтальная площадка (рис. 4.12). Жёсткость каждой пружины c = 350 Н/м. Груз массой m = 5 кг падает с высоты h = 0,3 м.

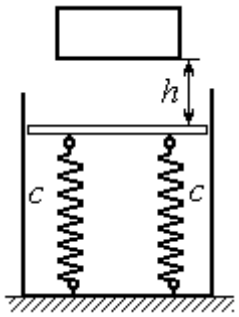


Рис. 4.12. Пружинный амортизатор

Коснувшись площадки, груз начинает двигаться вместе с ней. Определить максимальную осадку амортизатора и уравнение движения груза.

Решение

Заменим две пружины амортизатора одной с жесткостью, эквивалентной двум пружинам: $c_э = 2c$ = 700 Н/м. Расчётная схема колебаний груза показана на рис. 4.13. Начало координат оси x (точка O), вдоль которой происходят колебания, выбрано на уровне статического равновесия груза.

При движении (на рис. 4.13, *с* предполагается движение груза вниз) на груз действуют сила упругости $\vec{F}_{упр}$ и сила тяжести $\vec{P}$. Уравнение движения груза в проекции на ось x: $m\ddot{x} = P - F_{упр} = P - c_э\Delta\ell$, где $\Delta\ell$ – удлинение (или сжатие) пружины относительно недеформированного состояния.

В произвольном положении груза, обозначенном координатой x (см. рис. 4.13, *c*), сжатие пружины относительно её недеформированного состояния (см. рис. 4.13, *a*) составляет величину: $\Delta\ell = x + \lambda_{ст}$. Величина $\lambda_{ст}$ находится из условия статического равновесия груза, которое выражается равенством (рис. 4.13, *b*): $P - F_{упр\ ст} = P - c_э\lambda_{ст} = 0$.

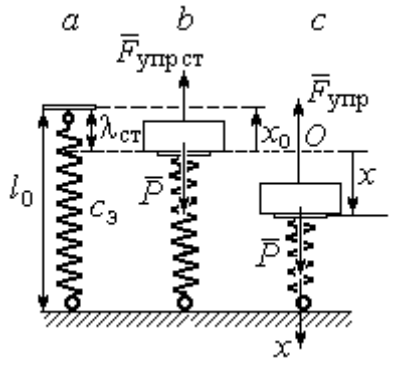


Рис. 4.13. Расчётная схема колебаний на эквивалентной пружине:
a – недеформированная пружина;
b – положение статического равновесия груза; *c* – произвольное положение

Подставляя это условие в уравнение движения груза, получим дифференциальное уравнение колебаний: $m\ddot{x} + c_э x = 0$ или $m\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, где $\omega = \sqrt{\dfrac{c_э}{m}}$ = 11,83 рад/с – угловая частота колебаний.

Общее решение однородного уравнения колебаний представляется в виде $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$, где C_1 и C_2 – произвольные постоянные, вычисляемые по начальным условиям движения груза.

По условию задачи груз падает на площадку, установленную на недеформированных пружинах. Это означает, что начальная координата груза при его движении на пружинах соответствует положению недеформированной пружины: $x_0 = -\lambda_{ст} = -\dfrac{mg}{c_э}$ = – 0,07 м.

Начальная скорость колебаний груза равна скорости груза при падении его с высоты 1 м. Интегрируя уравнение движения груза во время падения $m\ddot{s} = mg$, где s – путь, пройденный телом, получим зависимость скорости от пройденного пути: $V^2 = 2gs$. Полагая s = 0,3, найдём скорость груза при его встрече с площадкой: V = 2,43 м/с. Проекция начальной скорости колебаний груза на ось x положительна: $V_{0x} = V$ = 2,43 м/с.

Подставив начальные условия в общее решение уравнения колебаний, получим: $C_1 = x_0 = -\ 0{,}07$ м; $C_2 = \frac{V_{0x}}{\omega} =\ 0{,}2$ м. Окончательно уравнение колебаний груза на амортизаторе $x = -0{,}07\cos 11{,}83t + 0{,}2\sin 11{,}83t$. Амплитуда колебаний $A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} = 0{,}21$ м. Проседание амортизатора H отсчитывается от положения нерастянутых пружин: $H = A + \lambda_{ст} = 0{,}28$ м.

Задача 48. Для регистрации (записи) вертикальных колебаний тяжёлых платформ используется пружинный виброграф (рис. 4.14). Схема действия прибора состоит в следующем. Массивная платформа A совершает вертикальные гармонические колебания по закону $\xi = \xi(t)$. На платформе установлена вертикальная стойка с горизонтальной перекладиной, к которой прикреплена пружина жесткостью c. К нижнему концу пружины подвешен груз P массой m с индикаторной стрелкой B (см. рис. 4.14). Вертикальная шкала индикаторной стрелки закреплена на платформе A. В начальный момент груз на пружине находился в покое в положении статического равновесия. Определить закон колебаний стрелки B вдоль шкалы, если масса груза m = 1 кг, жесткость пружины c = 10 Н/м, платформа совершает вертикальные колебания по закону $\xi = a\sin pt$ см, где амплитуда a = 0,02 м, частота колебаний платформы p = 7 рад/с.

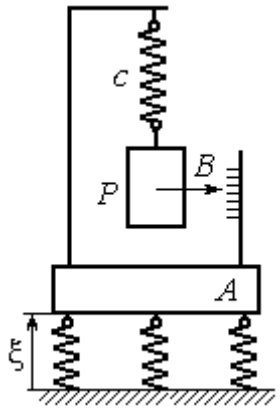


Рис.4.14. Регистратор вертикальных колебаний

Решение

Выберем неподвижную ось x, связанную, например, с неподвижной поверхностью, на которой стоит платформа. Начало координат – точку O выберем на уровне статического равновесия груза на пружине при неподвижной платформе. Произвольное положение груза отмечено координатой x (рис. 4.15).

Растяжение пружины при неподвижной платформе составляет величину $x+\lambda_{ст}$, где $\lambda_{ст}$ – удлинение пружины в положении статического равновесия груза, определяемое из условия $P-c\lambda_{ст}=0$. Вместе с тем колебание платформы вызывает аналогичное смещение точки подвеса пружины. В результате растяжение пружины при произвольном положении груза равно сумме: $\Delta\ell=(x+\lambda_{ст}+\xi)$.

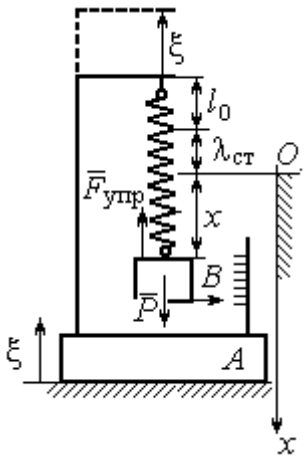


Рис. 4.15. Расчётная схема колебаний груза

На груз действуют сила тяжести $\vec{P}$ и сила упругости пружины $\vec{F}_{упр}$. Дифференциальное уравнение движения груза в проекции на ось *Ox*: $m\ddot{x}=P_x+F_{упр\,x}$, где проекции $P_x=P$, $F_{упр\,x}=-c\Delta\ell=-c(x+\lambda_{ст}+\xi)$. Расчётная схема колебаний груза показана на рис. 4.15.

С учётом условия статического равновесия груза $P-c\lambda_{ст}=0$ получим дифференциальное уравнение вынужденных колебаний груза в виде:

$$\ddot{x}+\omega^2x=-h\sin pt,$$

где ω – угловая частота собственных колебаний груза, $\omega=\sqrt{\dfrac{c}{m}}=3{,}16$ рад/с; h – относительная амплитуда вынужденных колебаний, $h=\dfrac{ca}{m}=0{,}2$ м/с^2; p – угловая частота вынужденных колебаний, $p=7$ рад/с.

Решение уравнения вынужденных колебаний представляется суммой $x=x_1+x_2$, где x_1 является общим решением однородного уравнения $\ddot{x}_1+\omega^2x_1=0$, а x_2 – частное решение уравнения вынужденных колебаний: $\ddot{x}_2+\omega^2x_2=-h\sin pt$.

Решив однородное уравнение, находим: $x_1=C_1\cos\omega t+C_2\sin\omega t$.

При отсутствии резонанса (а в данном случае частота вынужденных колебаний груза не совпадает с частотой собственных $\omega \neq p$) частное решение уравнения вынужденных колебаний ищем в виде $x_2 = b\sin pt$. Подставляя частное решение в уравнение вынужденных колебаний, получим уравнение $-bp^2\sin pt + \omega^2 b\sin pt = -h\sin pt$, откуда находим коэффициент: $b = \dfrac{h}{p^2 - \omega^2}$.

В результате общее решение уравнения колебаний принимает вид:

$$x = x_1 + x_2 = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t + \frac{h}{p^2 - \omega^2}\sin pt,$$

где константы C_1 и C_2 подлежат определению.

В начальный момент груз находился на пружине в положении статического равновесия, и потому его начальная координата и скорость равны нулю Подставляя значение координаты начального положения груза в общее решение уравнения вынужденных колебаний при t = 0, получим C_1= 0. Для определения второй константы вычислим скорость груза в произвольный момент времени: $\dot{x} = -C_1\omega\sin\omega t + C_2\omega\cos\omega t + \dfrac{hp}{p^2 - \omega^2}\cos pt$. Подставив начальное значение скорости груза, найдём $C_2 = -\dfrac{hp}{\omega(p^2 - \omega^2)} = -0{,}01$ м.

Таким образом, колебания груза относительно неподвижной системы координат описываются уравнением $x = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}05\sin 7t$ и представляют абсолютное движение груза. Для того чтобы найти закон движения груза относительно платформы – относительное движение, нужно из его абсолютного движения исключить переносное – колебания платформы. Поскольку стрелка прибора закреплена на грузе, а шкала – на платформе, то закон движения стрелки относительно шкалы:

$$x_r = x - \xi = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}05\sin 7t - 0{,}02\sin 7t = -0{,}01\sin 3{,}16t + 0{,}03\sin 7t.$$

Упражнения

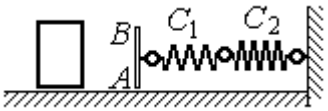


Рис. 4.16. Схема движения груза

Упражнение 4.3. Груз массы m = 0,5 кг, получив начальную скорость V_0 = 6 м/с, движется по горизонтальной поверхности, испытывая силу сопротивления, равную по величине $F = kV$ и направленную в сторону, противоположную движению. Через 1 с груз соединяется с невесомой вертикальной площадкой AB и продолжает движение вместе с ней, уже без сопротивления. К площадке прикреплены две горизонтальные последовательно соединённые пружины жёсткостью C_1 = 120 и C_2 = 40 Н/м (рис. 4.16).

Найти величину максимального сжатия пружины, если k = 0,5 Н/м/с. Определить закон движения груза.

Упражнение 4.4. Груз массы m =1 кг прикреплен к конструкции, состоящей из трёх вертикальных пружин одинаковой жёсткости C = 160 Н/м (рис. 4.17), и находится в равновесии. В некоторый момент времени грузу сообщают скорость V = 4 м/с, направленную вверх.

Найти амплитуду и частоту колебаний груза.

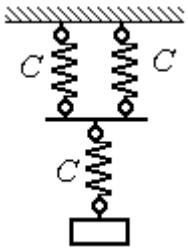


Рис. 4.17. Схема крепления груза на пружинах

4.3. Теорема об изменении кинетической энергии точки

Работой постоянной по величине и направлению силы $\vec{F}$ на прямолинейном перемещении точки приложения силы M (рис. 4.18) называется скалярная величина $A(\vec{F}) = FS\cos\alpha$, где F – модуль силы; S – конечное перемещение точки приложения силы; α – угол между направлением вектора силы и направлением перемещения точки приложения силы.

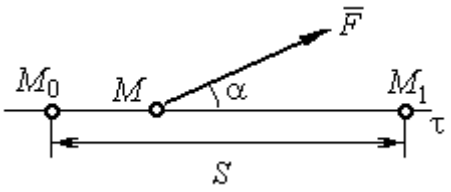


Рис. 4.18. Работа постоянной силы на прямолинейном участке

Работа силы тяжести материальной точки при перемещении её из положения M_0 в положение M_1 равна произведению $A_{(M_0M_1)} = \pm Ph$, где P – величина силы тяжести точки; h – вертикальное перемещение точки (рис. 4.19).

Работа силы тяжести положительна, если начальная точка движения выше конечной (см. рис. 4.19, *a*), и отрицательна, если начальная точка ниже конечной (см. рис. 4.19, *b*).

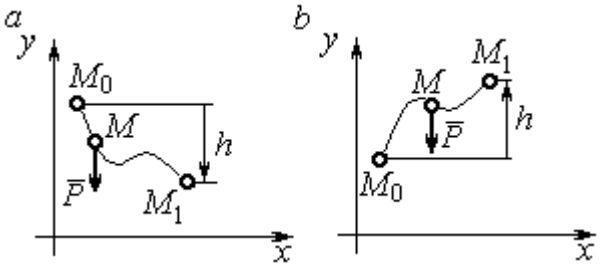


Рис. 4.19. Работа силы тяжести:
a – перемещение точки сверху вниз;
b – перемещение точки снизу вверх

Работа силы упругости пружины при перемещении вдоль линии действия силы из положения недеформированной пружины на расстояние h определяется формулой $A(\vec{F}_{\text{упр}}) = -\frac{ch^2}{2}$, где c – коэффициент жесткости (или жёсткость) пружины.

Кинетической энергией материальной точки называется скалярная величина $T = \frac{1}{2}mV^2$, где m – масса точки; V – её скорость.

Теорема об изменении кинетической энергии точки. Изменение кинетической энергии материальной точки при переходе её из начального положения в текущее равно алгебраической сумме работ всех действующих на неё сил: $\frac{mV_1^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = \sum A_{(M_0M_1)}$, где V_0, V_1 – скорость точки в начальном положении M_0 и в положении M_1; $\sum A_{(M_0M_1)}$ – сумма работ всех сил, действующих на точку, при перемещении её из положения M_0 в положение M_1. При несвободном движении точки в сумму работ сил войдёт и работа реакций связи.

Для определения реакций связи при несвободном движении точки используются уравнения движения в проекциях на оси естественной системы координат – касательную и нормальную: $m\frac{dV}{dt} = \sum F_\tau$, $m\frac{V^2}{\rho} = \sum F_n$, где $\sum F_\tau$, $\sum F_n$ – суммы проекций сил на касательную и нормальную оси естественной системы координат, ρ – радиус кривизны траектории точки.

Примеры решения задач с использованием теоремы об изменении кинетической энергии точки

Задача 49. Подъёмное устройство в шахте опускает груз массой 500 кг с постоянной скоростью V_0 = 6 м/с. После обрыва каната подъёмника срабатывает предохранительное устройство, которое создаёт силу трения между лифтом подъёмного устройства и стенками шахты. Какую силу трения, считая её постоянной, должно создать предохранительное устройство, чтобы остановить лифт на протяжении пути 10 м.

Решение

Рассмотрим падение груза после обрыва каната подъёмника. На груз действуют сила тяжести $\vec{P}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленная в сторону, противоположную движению. Считая груз материальной точкой, составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки. Получим выражение $\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = Ps - F_{\text{тр}}s$, где V_0, V – скорость груза в начале движения (сразу после обрыва каната) и в конце; s – путь, проходимый грузом за время движения. В конце движения груз должен остановиться, то есть V = 0. Тогда уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки принимает вид: $-\frac{mV_0^2}{2} = \left(P - F_{\text{тр}}\right)s$, откуда находим требуемую для остановки груза силу трения: $F_{\text{тр}} = P + \frac{mV_0^2}{2s}$. Подставляя условия задачи, получим: $F_{\text{тр}}$ = 5,81 кН

Задача 50. Тонкий стержень, расположенный в вертикальной плоскости, состоит из двух дуг сопряженных окружностей радиусов R = 1 м и r = 0,5 м (рис. 4.20). Линия OO_1, соединяющая центры окружностей, составляет с горизонтом угол 30°. На стержень надет шарик весом P = 10 Н. В точке A, положение которой на дуге радиуса R определяется углом α = 60°, шарику сообщают начальную скорость V_0, после чего он скользит по стержню без трения. Определить значение начальной скорости, при которой шарик достигнет

наивысшей точки *B* со скоростью, равной половине начальной. При найденном значении начальной скорости рассчитать давление шарика на стержень в точке *C*, положение которой на дуге радиуса *r* определяется углом $\beta = 90°$ относительно линии центров.

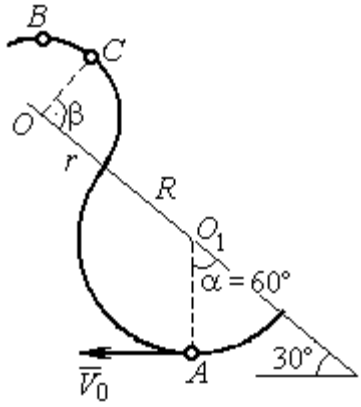


Рис. 4.20. Движение шарика по изогнутому стержню

Решение

При движении шарика по стержню без трения на него действуют сила тяжести $\vec{P}$ и реакция опоры $\vec{N}$. При этом работу совершает только сила тяжести шарика. Реакция гладкой поверхности стержня в любой момент времени перпендикулярна поверхности стержня и потому её работа равна нулю.

По теореме об изменении кинетической энергии точки при движении её из начального положения *A* в положение *B* имеем равенство:

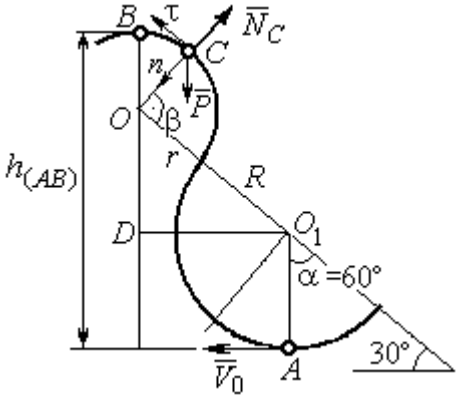


Рис. 4.21. Расчётная схема движения шарика

$$\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(P) = -Ph_{(AB)},$$

где $h_{(AB)}$ – перепад высот точек *B* и *A*, $h_{(AB)} = R + DO + r = \frac{3}{2}(R + r)$ (см. рис. 4.21); V_A, V_B – скорость шарика в точках *A* и *B*, причём $V_A = V_0$, $V_B = 0{,}5V_0$.

В результате уравнение, составленное на основании теоремы об изменении кинетической энергии, принимает вид: $\frac{3V_0^2}{8} = g\frac{3}{2}(R + r)$, откуда $V_0 = 2\sqrt{(R + r)g}$ = 7,67 м/с.

На рис. 4.21 показаны силы, приложенные к шарику, в момент, когда он находится в точке *C*. Проведём в точке *C* оси естественной системы координат –

касательную $C\tau$ и нормаль Cn. Уравнение движения шарика в проекции на нормальную ось имеет вид: $m\frac{V_C^2}{r} = P\cos 30^\circ - N_C$, откуда найдём реакцию N_C.

Для определения скорости шарика в точке *C* воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из положения *C* в положение *B*. Получим равенство $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_C^2}{2} = -Ph_{(CB)}$, где $h_{(CB)}$ – перепад высот при движении шарика из начального положения *C* в положение *B*. С учётом известных значений $V_B = 0{,}5V_0 =$ 3,84 м/с и $h_{(CB)} = r\cos 30^\circ =$ 0,43 м получим: $V_C = \sqrt{V_B^2 + 2gh_{(CB)}}$ = 4,82 м/с.

Из уравнения движения шарика находим реакцию опоры $N_C = P\cos 30^\circ - m\frac{V_C^2}{r}$ = – 38,7 Н.

Отрицательное значение реакции опоры шарика показывает, что фактическое направление реакции противоположно тому, как показано на рис. 4.21. Искомое давление шарика на трубку равно модулю реакции опоры.

Задача 51. Желоб состоит из шероховатой наклонной прямой *AB* и гладкой дуги окружности радиуса r = 0,8 м, сопряжённых в точке *B* так, что прямая *AB* является касательной к окружности в точке *B* (рис. 4.22). Положение точки *B* на дуге задаётся углом 30º относительно вертикального диаметра окружности. Тяжёлый шарик массой m = 0,5 кг начинает движение из точки *A* со скоростью V_0 = 0,2 м/с.

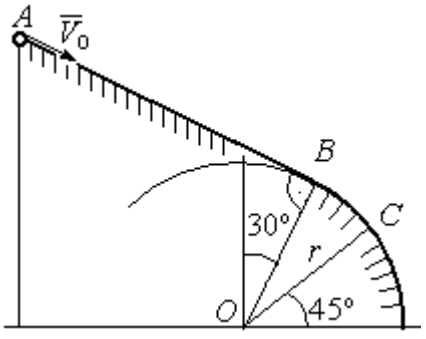


Рис. 4.22. Движение точки по составному желобу

Какой длины *S* должен быть желоб *AB*, чтобы шарик оторвался от окружности в точке *C*, определяемой углом 45º относительно горизонтального диаметра, если при движении по прямой *AB* шарик испытывает сопротивление скольжения с коэффициентом трения f = 0,4.

Решение

Рассмотрим движение шарика по дуге окружности. Проведём в точке C оси естественной системы координат – касательную $C\tau$ и нормаль Cn (рис. 4.23). На шарик действуют сила тяжести $\vec{P}$, реакция $\vec{N}_C$ опоры в точке C. Уравнение движения шарика в проекции на ось Cn имеет вид: $m\dfrac{V_C^2}{r} = P\cos 45^\circ - N_C$, где V_C – скорость шарика в точке C. Реакция опоры $N_C = P\cos 45^\circ - m\dfrac{V_C^2}{r}$.

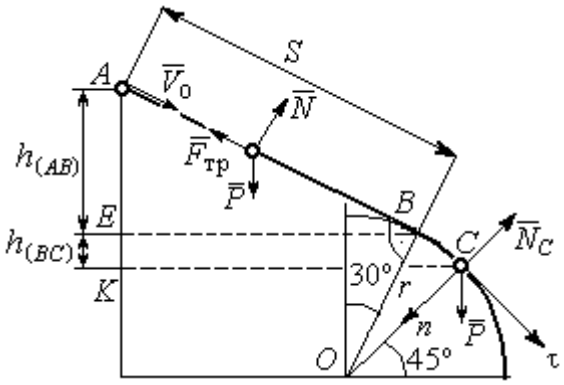


Рис. 4.23. Расчётная схема движения точки

В момент отрыва шарика в точке C реакция опоры обращается в ноль: $N_C = 0$. В результате получаем уравнение $V_C^2 = rg\cos 45^\circ$, из которого находим скорость шарика в момент его отрыва от опоры: $V_C = 2{,}36$ м/с.

Рассмотрим движение шарика из начального положения A в положение C. На шарик действуют сила тяжести $\vec{P}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и, при движении по наклонной прямой AB, сила трения $\vec{F}_{тр}$ (см. рис. 4.23). Работу совершают сила тяжести шарика и сила трения. Реакция опоры $\vec{N}$ и в том и другом случае перпендикулярна траектории движения, и её работа равна нулю.

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки $\dfrac{mV_C^2}{2} - \dfrac{mV_A^2}{2} = Ph_{(AC)} - F_{тр}S$, где S – длина участка AB; $h_{(AC)}$ – перепад высот на участке AC (см. рис. 4.23); $h_{(AC)} = h_{(AB)} + h_{(BC)} = S\sin 30^\circ + r\left(\cos 30^\circ - \cos 45^\circ\right)$.

Модуль силы трения: $F_{тр} = fN$. Для того чтобы найти реакцию N опоры шарика на наклонную поверхность желоба AB, составим проекцию уравнения движения шарика на ось y, перпендикулярную AB (на рис. 4.23 не показана).

Получим: $m\ddot{y} = N - P\cos 30^\circ = 0$. Отсюда $N = P\cos 30^\circ$ и сила трения $F_{\text{тр}} = fP\cos 30^\circ$.

Из уравнения теоремы об изменении кинетической энергии точки найдём выражение для определения длины S участка AB:

$$\frac{V_C^2 - V_A^2}{2g} = S\sin 30^\circ + r\left(\cos 30^\circ - \cos 45^\circ\right) - fPS\cos 30^\circ,$$

откуда получим $S = 1$ м.

Задача 52. Груз подвешен на нити длиной $l = 1$ м, закреплённой в неподвижной точке O (рис. 4.24). В начальный момент груз находился в положении A, при котором линия OA составляет с вертикалью угол $60°$. В этом положении грузу сообщают начальную скорость $\vec{V}_0$, перпендикулярно нити. Достигнув горизонтального положения, нить, натянутая грузом, встречает препятствие в виде тонкой проволоки в точке O_1, расположенной на середине длины нити, и дальше навивается на неё.

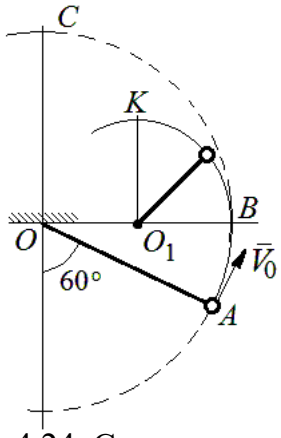


Рис. 4.24. Схема движения груза на нити

Какую минимальную начальную скорость нужно сообщить грузу в точке A, чтобы после встречи нити с проволокой в O_1 груз проскочил верхнюю точку траектории K. На какую максимальную высоту (относительно горизонтального диаметра OB) поднимется груз, двигаясь из той же точки A и с той же начальной скоростью, если нить будет двигаться беспрепятственно. Определить скачок натяжения нити в точке B при переходе груза с одной траектории на другую.

Решение

Построим оси естественной системы координат $n K \tau$ в точке K траектории – окружности радиуса $0{,}5l$ с центром O_1 (рис. 4.25, *a*). Во время движения на груз действуют сила тяжести и реакция нити. Уравнение движения груза в проекции на ось Kn имеет вид: $m\dfrac{V_K^2}{r} = P + N_K$, где V_K – скорость груза в точке K; N_K – реакция нити; r – радиус окружности движения груза; $r = 0{,}5l$. Из уравнения движения находим реакцию нити: $N_K = m\dfrac{2V_K^2}{l} - P$.

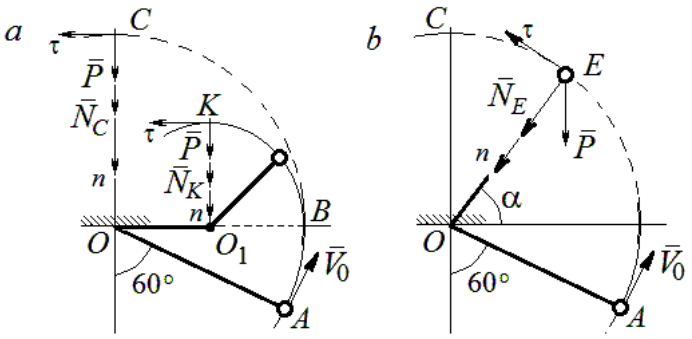


Рис. 4.25. Расчётная схема движения груза:
a – нить навивается на препятствие;
b – свободное движение

Так как нить представляет собой гибкую связь, то условием достижимости грузом точки K является требование, что при движении нить должна быть натянута, иначе говоря, всюду во время движения должно выполняться неравенство $N_K \geq 0$. С учётом уравнения движения груза это приводит к неравенству, выражающему требование к скорости в конечной точке: $V_K^2 \geq \dfrac{1}{2}gl$.

Скорость груза в точке K найдём на основании теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении груза из положения A в положение K. Имеем равенство $\dfrac{mV_K^2}{2} - \dfrac{mV_0^2}{2} = -Ph_{(AK)}$, где $h_{(AK)}$ – перепад высот точек A и K; $h_{(AK)} = l$ (см. рис. 4.25, *a*). Решая полученное уравнение, найдём зависимость скорости груза в точке K от начальной: $V_K^2 = V_0^2 - 2gl$. С учётом выполнения неравенства натяжения нити получим: $V_0 \geq \sqrt{\dfrac{5}{2}gl}$.

При минимальной начальной скорости $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$ груз достигает верхней точки *K*. Однако, натяжение нити в точке *K* обращается в нуль: $N_K = 0$ и нить в этом месте перестаёт быть натянутой. Груз продолжает движение, но уже в виде свободного падения с начальной скоростью $V_K = \sqrt{\frac{1}{2}gl}$.

Определим, на какую высоту поднимется груз из положения *A* с минимальной начальной скоростью $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$, если нить движется беспрепятственно (см. рис. 4.25, *b*). Построим в точке *E* оси естественной системы координат $nE\tau$ аналогично тому, как это было сделано в точке *K*. Уравнение движения груза в проекции на ось *En* имеет вид: $m\frac{V_E^2}{l} = P\sin\alpha + N_E$, где V_E – скорость груза в точке *E*; N_E – проекция реакции нити на нормальную ось.

Для определения скорости груза в точке *E* составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении груза из начального положения *A* в положение *E*. Получим: $\frac{mV_E^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = -Ph_{(AE)}$, где $h_{(AE)}$ – перепад высот точек *A* и *E*; $h_{(AE)} = \frac{l}{2} + l\sin\alpha$ (см. рис. 4.25, *b*). Решая полученное уравнение относительно скорости V_E при заданной начальной скорости $V_0 = \sqrt{\frac{5}{2}gl}$, найдём: $mV_E^2 = \frac{3}{2}mgl - 2mgl\sin\alpha$. С другой стороны, из уравнения движения груза (учитывая, что в точке *E* натяжение нити равно нулю: $N_E = 0$) получим: $mV_E^2 = Pl\sin\alpha$. Приравнивая выражения, получим $\sin\alpha = \frac{1}{2}$. Высота подъёма относительно горизонтального радиуса составляет $\frac{1}{2}l$.

Для определения скачка натяжения нити при переходе груза в точке B с окружности радиуса l на окружность радиуса $\frac{1}{2}l$, т. е. в момент, когда нить начинает навиваться на проволоку, напишем проекции уравнения движения груза на нормальную ось в точке B. Получим для малой окружности $\frac{2mV_B^2}{l} = N_B$ и для большой $\frac{mV_B^2}{l} = N'_B$, где N_B и N'_B – проекции реакции нити в точке B при движении груза по окружности радиусов $\frac{1}{2}l$ и l. Из уравнений видно, что переход груза с большой окружности на малую вызывает двукратное увеличение натяжения нити: $N'_B = \frac{3}{2}mg$, $N_B = 3mg$.

Задача 53. Шарик массой m = 0,5 кг движется в вертикальной плоскости из положения A внутри трубки, которая состоит из полуокружности AB радиуса R = 0,6 м и прямолинейного участка BD, сопряжённого в точке B с окружностью (рис. 4.26). Диаметр полуокружности AB составляет с горизонталью угол 60°. Начальная скорость шарика V_0 = 5 м/с. В конце кругового участка в точке B шарик упирается в недеформированную пружину жесткостью c = 100 Н/м. Найти величину S максимального сжатия пружины.

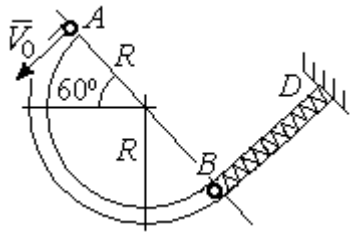


Рис. 4.26. Схема движения шарика

Решение

Найдём скорость шарика в точке B. Для этого составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки при движении шарика из начального положения A в положение B. Получим: $\frac{mV_B^2}{2} - \frac{mV_A^2}{2} = A(P) = Ph_{(AB)}$, где $h_{(AB)}$ – перепад высот точек A и B, $h_{(AB)} = 2R\sin 60^\circ = 1{,}04$ м (рис. 4.27).

Решая уравнение, найдём скорость шарика в точке B: $V_B = \sqrt{V_A^2 + 2gh_{(AB)}}$ = 6,74 м/с.

Для того, чтобы найти величину максимального сжатия пружины, рассмотрим движение шарика на прямолинейном отрезке трубки BD. На этом отрезке работу совершают сила тяжести шарика и сила упругости пружины, приложенные к шарику (см. рис. 4.27).

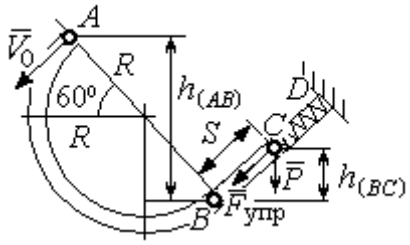


Рис. 4.27. Расчетная схема движения шарика

Обозначим S – максимальное сжатие пружины, равное BC. На основании теоремы об изменении кинетической энергии точки, применённой к движению шарика на отрезке BC, имеем уравнение $\frac{mV_C^2}{2} - \frac{mV_B^2}{2} = A(P) + A(F_{упр}) = -Ph_{(BC)} - \frac{cS^2}{2}$,

где $h_{(BC)}$ – перепад высот точек B и C; $h_{(BC)} = S\sin 30^\circ = 0{,}5S$ (см. рис. 4.27).

В точке C максимального сжатия пружины скорость шарика обращается в нуль: $V_C = 0$. Подставляя это условие, с учётом $V_B = 6{,}74$ м/с, получим уравнение для определения величины максимального сжатия пружины: $S^2 + 0{,}05S - 0{,}23 = 0$.

Выбирая положительный корень уравнения, находим: S = 0,45 м.

Упражнения

Упражнение 4.5. Лётчик в самолёте пикирует из точки A по прямой, составляющей с горизонтом угол φ, с начальной скоростью V_0. Пройдя расстояние $AB = l$, самолёт продолжает движение по дуге окружности радиуса R, сопряженной с прямой AB в точке B (рис. 4.28).

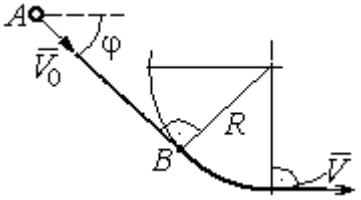


Рис. 4.28. Схема движения самолёта

Каким должен быть радиус окружности, чтобы в точке C – выхода самолёта на горизонтальный полёт - сила давления человека на корпус самолёта не превосходила его тройной вес.

Упражнение 4.6. Пружина жесткостью C = 100 Н/м, сжатая из недеформированного состояния на расстояние $KA = a$ = 0,3 м, выталкивает шарик массой m = 0,5 кг, который отделяется от неё в точке K и продолжает движение в трубке по дуге KCB, окружности радиуса R = 1 м, затем – по горизонтальному участку BD. Определить давление шарика на трубку в точке C. Какой путь пройдёт шарик до остановки по прямой BD, если здесь на него действует сила трения с коэффициентом f = 0,4.

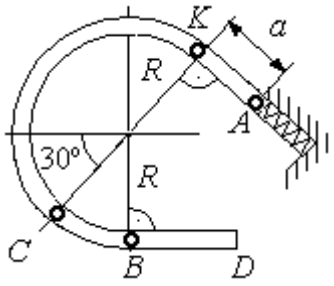


Рис. 4.29. Схема движения шарика в трубке

5. ОБЩИЕ ТЕОРЕМЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ

5.1. Теорема о движении центра масс системы

Центром масс системы материальных точек называют точку C, координаты которой x_C, y_C, z_C удовлетворяют равенствам:

$$mx_C = \sum m_k x_k \ , \quad my_C = \sum m_k y_k \ , \ mz_C = \sum m_k z_k \ ,$$

где m – масса системы: $m = \sum m_k$; m_k, x_k, y_k, z_k – массы и координаты материальных точек системы.

Теорема о движении центра масс системы. Центр масс механической системы движется как материальная точка с массой, равной массе системы, и к которой приложены внешние силы, действующие на систему: $m\vec{a}_C = \sum \vec{F}_k^e$, где $\vec{a}_C$ – вектор ускорения центра масс системы; $\sum \vec{F}_k^e$ – сумма всех внешних сил, действующих на систему.

Пример решения задач на применение теоремы о движении центра масс

Задача 54. Груз 1, находящийся на верхнем основании прямоугольной пирамиды *ABCD*, соединен с грузом 2 нерастяжимой нитью, перекинутой через блок C (рис. 5.1). Определить перемещение пирамиды, если груз 2 опустился на высоту 1 м. Масса груза 1 m_1 = 15 кг, груза 2 m_2 = 20 кг, пирамиды m = 50 кг. Трение при движении груза 1 по пирамиде и пирамиды по горизонтальной поверхности не учитывать.

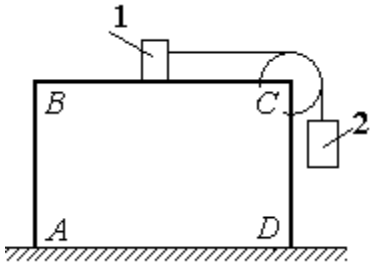


Рис. 5.1. Пирамида с системой подвижных грузов

Решение

Рассматриваем механическую систему, состоящую из двух грузов, соединённых нерастяжимой нитью, блока C и пирамиды *ABCD*.

Внешние силы, приложенные к системе: силы тяжести грузов и пирамиды – $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}$ и нормальная реакция $\vec{N}$ опоры поверхности, на которой стоит пирамида. Направления векторов внешних сил показаны на рис. 5.2.

Выберем неподвижную систему координат *Axy*, как показано на рис. 5.2. Все внешние силы, действующие на механическую систему, вертикальны, поэтому дифференциальное уравнение, составленное на основании теоремы о движении центра масс механической системы в проекции на ось *Ax,* имеет вид:

$$(m + m_1 + m_2)\ddot{x}_C = P_{1x} + P_{2x} + P_x + N_x = 0$$

$$\text{или} \quad \ddot{x}_C = 0,$$

где x_C – координата центра масс системы.

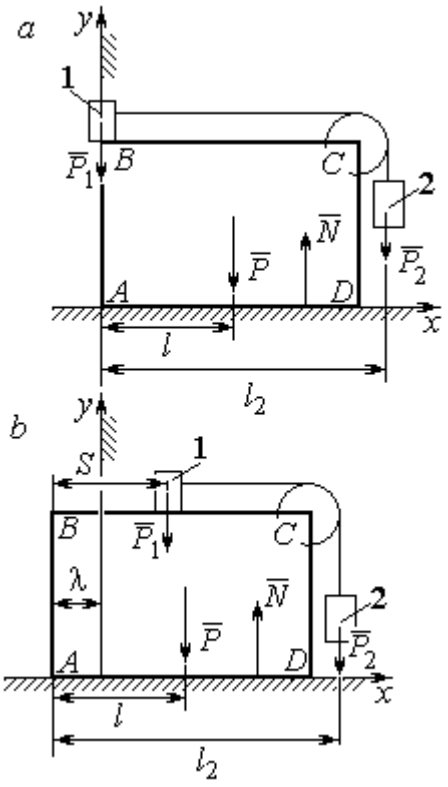


Рис. 5.2. Расчётная схема перемещения пирамиды: *a* – начальное положение; *b* – положение пирамиды при перемещении грузов на расстояние *S*

Проинтегрировав его дважды, получим закон движения центра масс системы: $x_C = C_1 t + C_2$, где константы интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий. Предположим, в начальный момент движение в механической системе отсутствовало и координата центра масс системы была равна x_{C0} (на рис. 5.2, *a* не показана), то есть при $t = 0$ $x_C(0) = x_{C0}$ и $\dot{x}_C(0) = 0$. Подставляя начальные условия, получим: $C_1 = 0$, $C_2 = x_{C0}$. В результате закон движения центра масс системы имеет вид: $x_C = x_{C0}$. Последнее означает, что при любом перемещении тел в системе координата центра масс системы на оси *Ax* остаётся постоянной, равной своему начальному значению.

Предположим, в начальный момент времени груз 1 находился у левого края призмы, как показано на рис. 5.2, *a*.

Начальная координата x_{C0} центра масс системы находится из равенства $(m_1 + m_2 + m)x_{C0} = \sum m_k x_k = m_1 \cdot 0 + m_2 l_2 + ml$, где l_2 – расстояние от начала координат до линии действия силы тяжести груза 2 (координата центра масс груза 2 на оси *Ax*); l – аналогичное расстояние до линии действия силы тяжести

пирамиды (см. рис. 5.2, *a*). Тогда начальная координата центра масс системы: $x_{C0} = \dfrac{m_2 l_2 + ml}{(m_1 + m_2 + m)}$.

Положение грузов в системе, после того как груз 1 переместился на расстояние *S*, и положение призмы показано на рис. 5.2, *b*. На рисунке отмечено, что при перемещении груза 1 вправо на расстояние *S* призма *ABCD* сместилась влево на расстояние λ. Координата x_{C1} центра масс для нового положения системы определяется из равенства:

$$(m_1 + m_2 + m)x_{C1} = m_1(S - \lambda) + m_2(l_2 - \lambda) + m(l - \lambda).$$

Выражая отсюда координату x_{C1} и приравнивая её начальному значению координаты центра масс $x_{C0} = x_{C1}$, найдём перемещение пирамиды $\lambda = \dfrac{m_1 S}{(m_1 + m_2 + m)}$. Подставляя данные задачи, получим $\lambda = 0{,}18$ м.

5.2. Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси

Момент инерции однородного диска радиусом *R*, массой *m* относительно оси *z*, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска: $J_z = \dfrac{1}{2}mR^2$. **Для неоднородных тел момент инерции** относительно оси *z* вычисляется по формуле: $J_z = mi_z^2$, где i_z – радиус инерции тела.

Кинетическим моментом (моментом количества движения) системы относительно неподвижной оси *z* называется величина, равная сумме моментов количеств движения точек относительно этой оси $\vec{L}_z = \sum M_z(m_k \vec{V}_k)$.

Для твёрдого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси *z*, **кинетический момент**: $L_z = J_z\omega$, где J_z и ω – момент инерции и угловая скорость тела. **Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси**. Производная по времени от кинетического момента системы

относительно неподвижной оси z равна сумме моментов внешних сил относительно той же оси: $\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$.

Примеры решения задач на применение теоремы об изменении кинетического момента системы

Задача 55. Для подъёма груза используется лебёдка со ступенчатым барабаном и противовесом. Груз 1 массой m_1 поднимается на канате, навитом на барабан 2 массой m_2 радиуса R. Противовес 3 массой m_3 прикреплён к канату, который навит на малую ступень барабана радиуса r (рис. 5.3). Радиус инерции барабана относительно оси вращения i_z. На барабан действует постоянный момент сил сопротивления $M_c = 60$ Н·м. В начале движения к барабану лебёдки прикладывается вращающий момент, пропорциональный времени: $M_{вр} = 620 + 30t$ Н·м, который через 2 с отключается. Определить, на какую высоту поднимется груз, если движение началось из состояния покоя. Массы грузов и барабана: $m_1 = 100$ кг, $m_2 = 50$ кг, $m_3 = 20$ кг. Радиусы ступеней барабана и радиус инерции: $R = 0{,}6$ м; $r = 0{,}4$ м; $i_z = 0{,}5$ м.

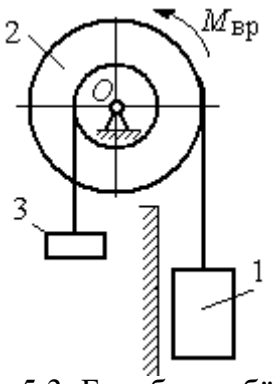


Рис. 5.3. Барабан лебёдки с грузом и противовесом

Решение

Решение следует рассматривать на двух этапах. На первом груз поднимается под действием вращающего момента, на втором – по инерции.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из груза 1, барабана 2 и противовеса 3. На систему действуют силы тяжести груза $\vec{P}_1$, барабана $\vec{P}_2$, противовеса $\vec{P}_3$, реакция шарнира $\vec{R}$, пара сил с моментом, равным моменту вращения $M_{вр}$, и пара сил с моментом сопротивления M_c. Направления векторов сил и моментов показаны на рис. 5.4. Выберем начало оси y, вдоль

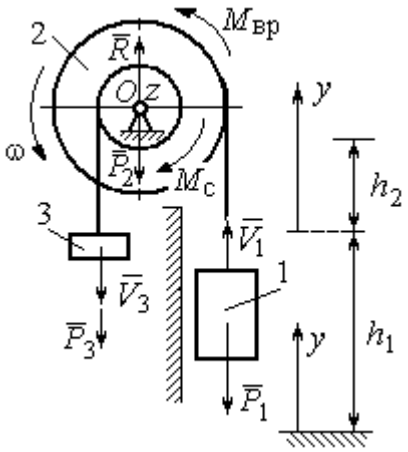


Рис. 5.4. Силы, действующие на систему во время движения

которой поднимается груз на первом участке движения, в точке начала движения (см. рис. 5.4).

Воспользуемся теоремой об изменении кинетического момента системы относительно оси z, проходящей через центр O: $\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$. Кинетический момент системы относительно оси z равен сумме кинетических моментов барабана, груза и противовеса: $L_z = L_z^{бар} + L_z^{гр} + L_z^{пр}$. Кинетический момент барабана, вращающегося вокруг неподвижной оси z: $L_z^{бар} = J_z\omega$, где J_z – момент инерции барабана относительно оси z, $J_z = m_2 i_z^2$; ω – угловая скорость барабана. Рассматривая груз и противовес как материальные точки, найдём их кинетические моменты относительно оси z: $L_z^{гр} = M_z(m_1\vec{V}_1) = m_1V_1R$; $L_z^{пр} = M_z(m_3\vec{V}_3) = m_3V_3r$.

Суммарный кинетический момент системы:

$$L_z = L_z^{бар} + L_z^{гр} + L_z^{пр} = m_2 i_z^2\omega + m_1V_1R + m_3V_3r.$$

Выразим скорости груза 1 и противовеса 3 через угловую скорость барабана: $V_1 = \omega R$, $V_3 = \omega r$ - и подставим их в выражение кинетического момента. Получим $L_z = (m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\omega = (m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\frac{V_1}{R}$.

Суммарный момент внешних сил относительно оси z

$$\sum M_z(\vec{F}_k^e) = M_{вр} - M_c - P_1R + P_3r.$$

Дифференциальное уравнение движения груза:

$$(m_2 i_z^2 + m_1R^2 + m_3r^2)\frac{dV_1}{dt} = (M_{вр} - M_c - P_1R + P_3r)R,$$

или с учётом данных задачи $\frac{dV_1}{dt} = 0{,}58 + 0{,}35t$.

Дважды интегрируя это уравнение с нулевыми начальными условиями, найдём скорость груза V_1 и проходимый им путь y как функции времени:

$$V_1(t) = 0{,}58t + 0{,}175t^2; \quad y(t) = 0{,}29t^2 + 0{,}058t^3.$$

Из уравнений движения найдём: при $t = 2$ с (конец первого участка) груз поднялся на высоту $h_1 = y(2) = 1{,}62$ м и имел скорость $V_1 = V_1(2) = 1{,}86$ м/с.

На втором участке движения груз продолжает подниматься вверх. Уравнение движения груза здесь аналогично первому участку, за исключением вращающего момента (см. рис. 5.4):

$$(m_2 i_z^2 + m_1 R^2 + m_3 r^2)\frac{dV_1}{dt} = (-M_c - P_1 R + P_3 r)R, \text{ или } \frac{dV_1}{dt} = -6{,}61.$$

Представим ускорение груза в виде: $\frac{dV_1}{dt} = \frac{dV_1 dy}{dy dt} = V_1 \frac{dV_1}{dy}$. Теперь уравнение движения груза на втором участке имеет вид: $V_1 \frac{dV_1}{dy} = -6{,}61$. Интегрируя его, получим зависимость скорости груза от пройденного пути $\frac{V_1^2}{2} = -6{,}61y + C_3$. Выберем начало второго участка на высоте h_1. Из начальных условий движения груза: при $t = 0$, $y = 0$, $V_1 = 1{,}86$ м/с, получим: $C_3 = 1{,}73$.

Максимальную высоту h_2, на которую поднялся груз на втором участке, определим из условия, что в этой точке скорость груза обращается в нуль. Имеем $0 = -6{,}61h_2 + 1{,}73$, откуда $h_2 = 0{,}26$ м. Максимальная высота подъёма груза $H = h_1 + h_2 = 1{,}88$ м.

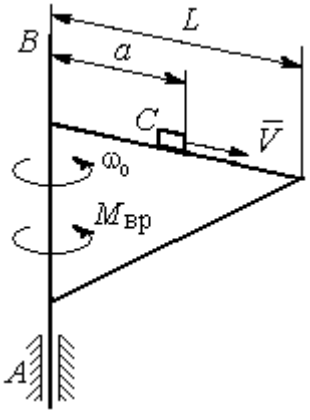


Рис. 5.5. Поворотный кран

Задача 56. Тележка C поворотного подъёмного крана (рис. 5.5) движется с постоянной относительно стрелы скоростью $V = 0{,}5$ м/с. Длина стрелы $L = 10$ м, масса тележки с грузом $m_1 = 100$ кг, момент инерции крана относительно оси вращения AB без учёта тележки и груза $J = 1800$ кг·м^2. Двигатель крана создаёт

постоянный вращающий момент $M_{вр}$ = 400 Н·м. Определить угловую скорость крана в момент, когда тележка достигнет края стрелы, если в начальный момент конструкция вращалась с угловой скоростью ω_0 = 2 рад/с, а тележка находилась на расстоянии a = 1 м от оси вращения.

Решение

На систему действуют внешние силы: $\vec{P}_1$ – сила тяжести тележки с грузом, $\vec{P}_2$ – сила тяжести поворотного крана (на рис. 5.6 показана в условном центре тяжести крана); $\vec{R}_x$, $\vec{R}_y$ – составляющие реакции подшипника A и пара сил с моментом, равным вращающему моменту $M_{вр}$ (см. рис. 5.6). Применим к описанию движения системы теорему об изменении кинетического момента системы относительно оси вращения z, направленной вдоль линии AB.

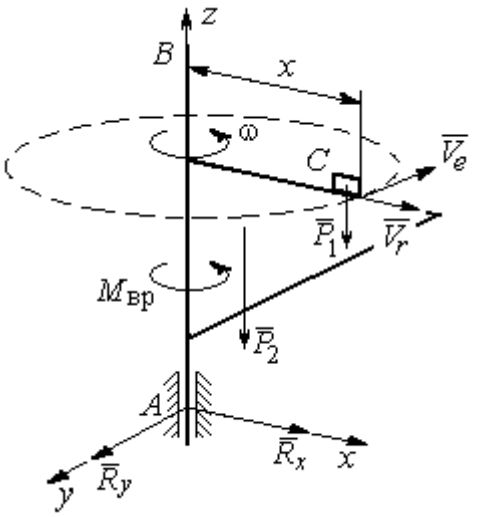


Рис. 5.6. Внешние силы, действующие на кран при его движении

Поскольку силы тяжести параллельны оси вращения крана, а составляющие реакции шарнира A пересекают её, то моменты этих сил относительно оси z равны нулю и теорема об изменении кинетического момента системы принимает вид: $\frac{dL_z}{dt} = M_{вр}$. Интегрируя это уравнение при постоянном вращающем моменте, получим равенство: $L_z - L_{z0} = M_{вр}t$, где L_z, L_{z0} – кинетический момент системы в текущий и начальный моменты времени.

Кинетический момент системы L_z равен сумме: $L_z = L_z^{кран} + L_z^{груз}$. Кинетический момент крана как твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси: $L_z^{кран} = J\omega$. Полагая тележку с грузом материальной точкой, определим её кинетический момент $L_z^{груз}$, как момент вектора количества

движения тележки относительно оси z. Тележка с грузом участвует в сложном движении. Вектор абсолютной скорости тележки $\vec{V}_{\text{абс}}$ равен сумме $\vec{V}_{\text{абс}} = \vec{V}_r + \vec{V}_e$, где $\vec{V}_r$ относительная скорость тележки (перемещение по стреле крана); $\vec{V}_e$ – переносная скорость (движение вместе с краном). Воспользовавшись теоремой Вариньона при вычислении момента количества движения тележки с грузом, получим:

$$L_z^{\text{груз}} = M_z(m_1\vec{V}_{\text{абс}}) = M_z(m_1\vec{V}_e + m_1\vec{V}_r) = M_z(m_1\vec{V}_e) = m_1 V_e x = m_1\omega x^2.$$

В результате суммарный кинетический момент системы в текущий момент времени $L_z = L_z^{\text{кран}} + L_z^{\text{груз}} = \left(J + m_1x^2\right)\omega$. Тогда начальный кинетический момент систем: $L_{z0} = \left(J + m_1a^2\right)\omega_0$.

Подставляя выражения начального и текущего кинетического моментов в уравнение движения, получим: $\left(J + m_1x^2\right)\omega - \left(J + m_1a^2\right)\omega_0 = M_{\text{вр}}t$, откуда закон изменения угловой скорости крана $\omega = \dfrac{M_{\text{вр}}t + \left(J + m_1a^2\right)\omega_0}{\left(J + m_1x^2\right)}$. Момент времени $t_{\text{к}}$, когда тележка достигнет края стрелы ($x = L$), найдём из условия движения тележки по стреле с постоянной скоростью: $Vt_{\text{к}} = L - a$. С учётом данных задачи угловая скорость крана в этот момент $\omega(t_{\text{к}}) = 0{,}93$ рад/с.

5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы

Кинетическая энергия тела при поступательном движении $T = \dfrac{1}{2}mV_C^2$, где m – масса тела; V_C – скорость центра масс тела; **при вращательном движении** вокруг неподвижной оси z: $T = \dfrac{1}{2}J_z\omega^2$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ω – угловая скорость тела; **при плоскопараллельном движении**: $T = \dfrac{1}{2}mV_C^2 + \dfrac{1}{2}J_{zC}\omega^2$, где m – масса тела; V_C, ω – скорость центра

масс и угловая скорость тела; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

Работа постоянной силы F при прямолинейном перемещении точки приложения силы $A = FS\cos\alpha$, где S – перемещение точки; α – постоянный угол между перемещением и направлением силы. **Работа пары сил с постоянным моментом** M при повороте тела на конечный угол φ вычисляется по формуле: $A = \pm M\varphi$, где φ – угол поворота тела. Работа считается положительной, если пара сил стремится повернуть тело в направлении его вращения, и отрицательной – в противном случае.

Мощностью силы F называют величину, равную скалярному произведению силы на скорость точки её приложения: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}$, где V – скорость точки приложения силы. При плоском движении тела мощность силы равна сумме скалярных произведений: $N = \vec{F} \cdot \vec{V}_O + \vec{M}_O \cdot \vec{\omega}$, где V_O – скорость точки, выбранной полюсом; ω – угловая скорость тела; $\vec{M}_O = M_O(\vec{F})$ – момент силы относительно полюса. Если в качестве полюса выбрать точку K – мгновенный центр скоростей, то мощность силы $N(\vec{F}) = \vec{M}_K(\vec{F}) \cdot \vec{\omega}$, где $M_K(\vec{F})$ – момент силы относительно мгновенного центра скоростей.

Теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме. Производная по времени от кинетической энергии системы равна сумме мощностей внешних и внутренних сил $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e) + \sum N(\vec{F}_k^i)$.

Теорема об изменении кинетической энергии системы на конечном перемещении. Изменение кинетической энергии системы при перемещении её из начального состояния в текущее равно сумме работ внешних и внутренних сил, действующих на систему: $T - T_0 = \sum A(\vec{F}_k^e) + \sum A(\vec{F}_k^i)$.

Механические системы, состоящие из абсолютно твердых тел, соединенных гибкими нерастяжимыми нитями, называются **неизменяемыми**. В

неизменяемых системах сумма работ и сумма мощностей внутренних сил равны нулю: $\sum A(\vec{F}_k^i) = 0$.

Примеры решения задач на применение теоремы об изменении кинетической энергии системы

Задача 57. Планетарный механизм, позволяющий получать повышенные передаточные отношения угловых скоростей, состоит из трех одинаковых колёс, соединённых кривошипом OA (рис. 5.7). Колесо 1 неподвижно, кривошип OA вращается с угловой скоростью ω_{OA} и приводит в движение колёса 2 и 3. Полагая массы колёс и их радиусы одинаковыми, равными m и r, и пренебрегая массой кривошипа, найти кинетическую энергию механизма.

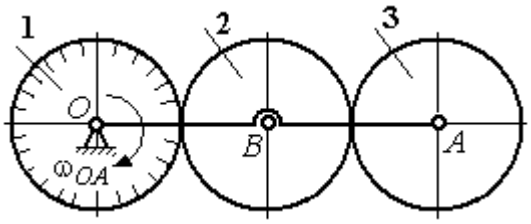


Рис. 5.7. Планетарный механизм

Решение

Кинетическая энергия механизма T равна сумме энергий колёс 2 и 3: $T = T_2 + T_3$. Энергия колеса 1 равна нулю потому, что оно неподвижно, а энергия кривошипа равна нулю, так как массой кривошипа пренебрегаем. При движении механизма колесо 2, увлекаемое кривошипом, катится по неподвижной поверхности первого колеса. Энергия колеса 2: $T_2 = \dfrac{mV_B^2}{2} + \dfrac{J_{2B}\omega_2^2}{2}$, где V_B – скорость центра масс колеса 2, J_{2B} – момент инерции колеса 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости колеса, $J_{2B} = \dfrac{mr^2}{2}$.

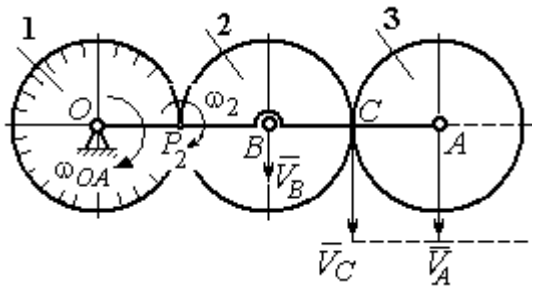


Рис. 5.8. Расчётная схема вычисления энергии механизма

Выразим кинетическую энергию колеса 2 через угловую скорость ω_{OA} кривошипа OA.

Скорость точки B, лежащей на кривошипе OA: $V_B = \omega_{OA} \cdot OB = \omega_{OA} 2r$.

Так как точка P_2 касания колёс 1 и 2 является мгновенным центром скоростей колеса 2 (рис. 5.8), угловая скорость колеса 2 $\omega_2 = \dfrac{V_B}{BP_2}$. В результате получим: $\omega_2 = 2\omega_{OA}$. Подставив зависимости V_B и ω_2 в выражение кинетической энергии колеса 2, найдём:

$$T_2 = \frac{m(\omega_{OA} 2r)^2}{2} + \frac{mr^2}{2} \cdot \frac{(2\omega_{OA})^2}{2} = 3m\omega_{OA}^2 r^2.$$

Вычислим кинетическую энергию колеса 3. Найдём скорость точки C, считая, что она принадлежит колесу 2: $V_C = \omega_2 \cdot P_2C = 4\omega_{OA} r$. Скорость точки A – центра колеса 3 определим, полагая, что точка A лежит и на кривошипе: $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 4\omega_{OA} r$. Скорости двух точек A и C колеса 3 равны и параллельны, причём линия AC перпендикулярна векторам скоростей $\vec{V}_A$ и $\vec{V}_C$ (см. рис. 5.8). В этом случае мгновенный центр скоростей отсутствует и колесо 3 совершает мгновенно-поступательное движение. Энергия поступательного движения колеса 3: $T_3 = \dfrac{mV_A^2}{2} = \dfrac{m(4\omega_{OA} r)^2}{2} = 8m\omega_{OA}^2 r^2$.

Окончательно, энергия механизма: $T = T_2 + T_3 = 11m\omega_{OA}^2 r^2$.

Задача 58. Горизонтальный желоб DE опирается на блок 1 и на каток 3 одинакового радиуса r (рис. 5.9). Блок 1 весом P_1 вращается вокруг неподвижной оси O_1. Каток 3 катится по горизонтальному рельсу без проскальзывания. На одной оси с катком 3 жестко связано колесо 2 радиуса R. Их общий вес равен Q, а общий радиус инерции относительно оси z, проходящей через центр масс C перпендикулярно плоскости катка, равен i_z. Система движется в вертикальной плоскости под действием сил тяжести, силы $\vec{F}$ и пары сил с моментом M. Массой желоба пренебрегаем. Скольжение между желобом и блоком 1, а также

катком 3 отсутствует. Определить ускорение центра масс колеса 2 и катка 3 и угловое ускорение блока 1, если: P_1 = 40 Н, Q = 60 Н, F = 50 Н, M = 45 Н·м, R = 0,8 м, r = 0,6 м, i_z = 0,4 м.

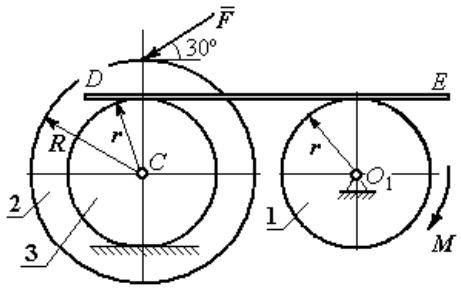


Рис. 5.9. Схема движения механической системы

Решение

Для решения задачи воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии для неизменяемых механических систем: $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в её текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

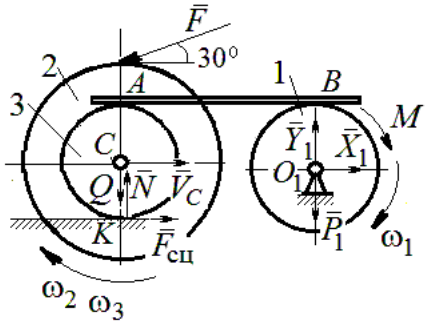


Рис. 5.10. Расчетная схема для исследования движения системы

Предположим, во время движения системы блок 1 вращается по ходу часовой стрелки.

Угловые скорости ω_1, ω_2 блока 1, катка 3 и скорость $\vec{V}_C$ центра масс катка 3 показаны на рис. 5.10. Угловая скорость колеса 2 и катка 3 равны: $\omega_3 = \omega_2$.

Кинетическая энергия вращательного движения блока 1 $T_1 = \frac{1}{2} J_{zO_1} \omega_1^2$, где J_{zO_1} – осевой момент инерции блока, $J_{zO_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$.

Фигура, состоящая из катка 3 и колеса 2, двигается плоскопараллельно. Кинетическая энергия фигуры определяется по формуле: $T_2 = \frac{1}{2} m V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_2^2$, где m – общая масса катка и колеса, $m = \frac{Q}{g}$, J_{zC} – момент инерции фигуры относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zC} = m i_z^2$,

У катка 3 мгновенный центр скоростей находится в точке касания его с неподвижной поверхностью (точка K на рис. 5.10). Тогда $\omega_3 = \dfrac{V_C}{r}$. Скорость точки A катка $V_A = \omega_3 2r = 2V_C$. Приравнивая скорость точки A на катке 2 к скорости точки B на блоке 1, получим $\omega_1 = \dfrac{2V_C}{r}$.

Найдём кинетическую энергию системы, выраженную через скорость центра масс катка 3:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{P_1}{g} V_C^2 + \frac{Q}{2g}\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right) V_C^2 = \frac{V_C^2}{2g}\left[2P_1 + Q\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right].$$

Найдем сумму мощностей внешних сил.

На блок 1 действуют: сила тяжести $\vec{P}_1$, пара сил с моментом M и реакция шарнира O_1, разложенная на составляющие $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ (рис. 5.10). Мощности силы тяжести $\vec{P}_1$ и сил реакции $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$ подшипника O_1 равны нулю, так как нет перемещения точек приложения этих сил. Момент M направлен в сторону вращения блока 1, его мощность $N(M) = M\omega_1 = M\dfrac{2V_C}{r}$.

На каток 3 (вместе с жестко связанным с ним колесом 2) действуют: сила $\vec{F}$, сила тяжести $\vec{Q}$ катка и колеса, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила сцепления $\vec{F}_{\text{сц}}$ катка 3 с поверхностью.

Мощности сил $\vec{N}$ и $\vec{F}_{\text{сц}}$ равны нулю, так как точкой приложения этих сил является мгновенный центр скоростей катка 3, скорость которого равна нулю. Мощность силы тяжести $\vec{Q}$ равна нулю, так как угол между вектором силы и вектором скорости точки C равен 90°.

Для определения мощности силы $\vec{F}$, приложенной к колесу, выберем в качестве полюса точку K – мгновенный центр скоростей диска 2. С учётом того, что скорость $V_K = 0$, получим:

$$N(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{V}_K + \vec{M}_K(\vec{F}) \cdot \vec{\omega}_2 = \vec{M}_K(\vec{F})\vec{\omega}_2 =$$

$$= - F(r + R)\omega_2 \cos 30° = - FV_C\left(1 + \frac{R}{r}\right)\cos 30°.$$

Поскольку вращение, создаваемое моментом силы $\vec{F}$ относительно центра *K*, противоположно выбранному направлению угловой скорости катка, мощность силы $\vec{F}$ отрицательная.

Суммарная мощность внешних сил:

$$\sum N(F^e) = - FV_C\left(1 + \frac{R}{r}\right)\cos 30° + M\frac{2V_C}{r}.$$

Составляем уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы. Находим производную по времени от кинетической энергии системы $\frac{dT}{dt} = \frac{V_C}{g}a_C\left[2P_1 + Q\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right]$ и приравниваем суммарной мощности внешних сил. Получим:

$$\frac{1}{g}a_C\left[2P_1 + Q\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right)\right] = - F\left(1 + \frac{R}{r}\right)\cos 30° + \frac{2M}{r},$$

откуда с учётом исходных данных задачи ускорение центра масс диска 2 a_C = 2,88 м/с^2. Для определения углового ускорения блока 1 продифференцируем по времени равенство $\omega_1 = \frac{2V_C}{r}$. Получим: $\varepsilon_1 = \frac{2a_C}{r}$ = 9,6 рад/с^2.

Задача 59. Каток радиуса *r*, весом *P* закатывают вверх по наклонной плоскости приложив в центре катка силу $\vec{F}$ под углом 30° к наклонной плоскости (рис. 5.11). Сама плоскость наклонена под углом 30° к горизонту. Величина силы *F* = 2*P*. В начальном положении центр катка имел скорость V_0.

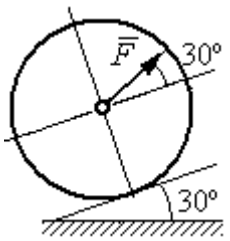


Рис. 5.11. Движение катка на наклонной плоскости

На какое расстояние S переместился центр катка, если в конце перемещения его скорость удвоилась.

Решение

Применим теорему об изменении кинетической энергии на конечном перемещении системы: $T - T_0 = \sum A(F_k)$. На каток действует сила тяжести $\vec{P}$, сила $\vec{F}$, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления диска с наклонной плоскостью (рис. 5.12). При перемещении центра катка на расстояние S вдоль наклонной плоскости работу совершают только сила $\vec{F}$: $A(\vec{F}) = F\cos 30° S$ и сила тяжести: $A(\vec{P}) = -Ph$, где h – перепад высот при перемещении центра масс катка. Работа реакции опоры и силы сцепления равна нулю.

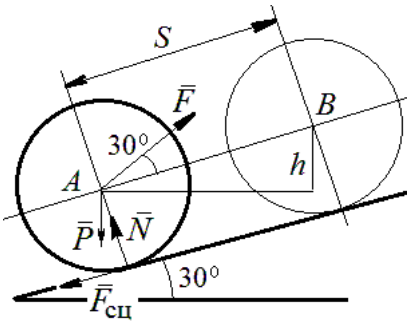


Рис. 5.12. Расчётная схема движения катка

Кинетическая энергия катка $T = \frac{1}{2} m V_A^2 + \frac{1}{2} J_{zA} \omega^2$, где J_{zA} – момент инерции фигуры относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_{zA} = \frac{mr^2}{2}$. Выражая угловую скорость катка через скорость центра масс $\omega = \frac{V_A}{r}$, с учётом выражения момента инерции катка, получим энергию катка в виде: $T = \frac{3}{4} m V_A^2$.

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии при перемещении центра катка на расстояние S: $\frac{3}{4} m V_B^2 - \frac{3}{4} m V_A^2 = F\cos 30° S - Ph$, где $V_A = V_0$ $V_B = 2V_0$, $F = 2P$, $h = S\sin 30°$.

Найдём искомое перемещение: $S = \frac{9V_0^2}{4g(2\cos 30° - \sin 30°)}$.

Упражнения

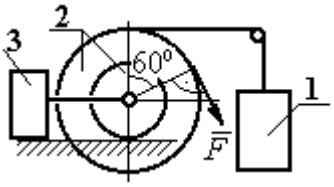


Рис. 5.16. Схема механизма катка

Упражнение 5.1. Крановая тележка массы m_1 может перемещаться по горизонтальной балке без трения (рис. 5.13). В центре масс тележки закреплён трос длиной l, на другом конце которого привязан груз массы m_2. Трос может совершать колебательные движения в вертикальной плоскости. В начальный момент трос был в вертикальном положении. Определить горизонтальное перемещение тележки в зависимости от угла наклона троса. Весом троса пренебречь.

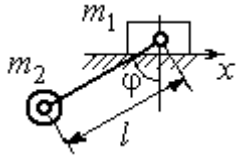


Рис. 5.13. Движение крановой тележки

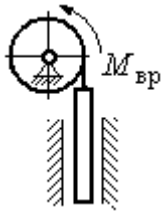


Рис. 5.14. Схема механизма лебёдки

Упражнение 5.2. К барабану лебёдки, поднимающей штангу, приложен вращающий момент, пропорциональный времени $M_{ВР} = kt$ (рис. 5.14). Штанга массы m_1 поднимается посредством каната, навитого на барабан массы m_2 и радиуса r. В начальный момент система находилась в покое. Определить угловую скорость барабана, считая его однородным диском.

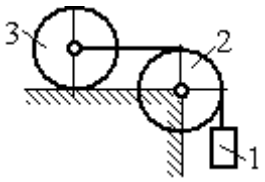


Рис. 5.15. Схема движения системы

Упражнение 5.3. Груз 1 массы m_1 подвешен на нерастяжимом тросе, другой конец которого переброшен через блок 2 и закреплён в центре масс катка 3 (рис. 5.15). Каток 3 катится по горизонтальной поверхности без проскальзывания. Блок 2 и каток 3 – однородные диски массы m_2 и m_3, радиуса r. В начальный момент система находилась в покое. Определить скорость груза, когда он опустится на высоту h, если к катку 3 приложен момент M.

Упражнение 5.4. Механическая система включает два груза 1 и 3 одинакового веса P и каток 2 весом $2P$, радиусом $R = 2r$ с цилиндрическим выступом радиусом r (рис. 5.16). Каток катится выступом по неподвижной поверхности без проскальзывания. К катку по касательной к окружности приложена сила $F = 2P$. Найти ускорение центра масс катка, если его радиус инерции относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения: $i_{zC} = r\sqrt{2}$.

5.4. Применение общих теорем динамики системы к описанию движений твёрдого тела

Поступательное движение твердого тела описывается дифференциальными уравнениями: $m\ddot{x} = \sum F_{kx}^e$, $m\ddot{y} = \sum F_{ky}^e$, $m\ddot{z} = \sum F_{kz}^e$ - или в алгебраической форме $ma_{Cx} = \sum F_{kx}^e$, $ma_{Cy} = \sum F_{ky}^e$, $ma_{Cz} = \sum F_{kz}^e$, где m – масса тела; $\ddot{x} = a_{Cx}$, $\ddot{y} = a_{Cy}$, $\ddot{z} = a_{Cz}$ – проекции ускорения центра масс тела на координатные оси; F_{kx}^e, F_{ky}^e, F_{kz}^e – проекции внешних сил.

Вращательное движение твердого тела относительно неподвижной оси z описывается дифференциальным уравнением: $J_z \frac{d\omega}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$ или алгебраическим уравнением: $J_z\varepsilon = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$, где ω, ε – угловая скорость и угловое ускорение тела; $\sum M_z(\vec{F}_k^e)$ – сумма моментов внешних сил относительно оси z; J_z – момент инерции тела относительно оси z.

Плоскопараллельное движение твердого тела описывается уравнениями движения центра масс и вращательного движения тела относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения.

В проекции на координатные оси уравнения плоскопараллельного движения тела имеют вид:

$$ma_{Cx} = \sum F_{kx}^e;\ ma_{Cy} = \sum F_{ky}^e;\ J_{zC}\varepsilon = \sum M_{zC}(\vec{F}_k^e),$$

где a_{Cx}, a_{Cy}– проекции ускорения центра масс тела; F_{kx}^e, F_{ky}^e – проекции на оси координат внешних сил, действующих на тело; J_{zC} – момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения; ε – угловое ускорение тела; $M_{zC}(\vec{F}_k^e)$ – моменты внешних сил относительно оси, проходящей через центр масс.

Проводя динамический расчет механической системы, следует рассматривать движение каждого тела системы в отдельности, предварительно освободив его от связей и заменив их действие реакциями.

Примеры решения задач на составление уравнений движения твердых тел

Задача 59. Лебёдка поднимает груз 1 массы $m_1 = 50$ кг посредством троса,

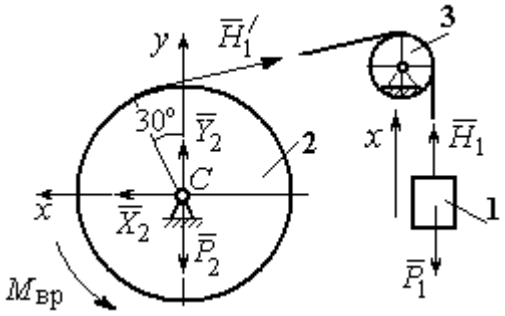


Рис. 5.18. Внешние силы и реакции, действующие на груз и барабан при движении системы

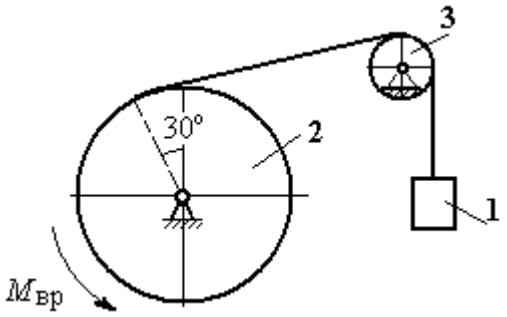


Рис. 5.17. Механизм лебёдки

переброшенного через блок 3 и навитого на барабан 2 массы $m_2 = 20$ кг, радиуса $r = 0{,}8$ м (рис. 5.17). К барабану приложен постоянный вращающий момент $M_{вр} = 480$ Н·м. Определить ускорение груза, натяжение троса и реакцию шарнира барабана 2. Весом троса и массой блока 3 пренебречь, барабан считать сплошным цилиндром.

Решение

Составим уравнение движения груза 1. Для этого освобождаем груз от связей, заменив действие троса реакцией. На груз действует сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция троса $\vec{H}_1$ (рис. 5.18). Выберем ось x по направлению движения груза. Уравнение движения груза в проекции на ось x: $m_1 a_1 = H_1 - P_1$.

Рассмотрим движение барабана 2. Освободим барабан от связей и заменим их действие реакциями.

На барабан действует сила тяжести $\vec{P}_2$, пара сил с моментом вращения $M_{вр}$, реакция троса $\vec{H}_1'$ и реакция шарнира (на рис. 5.18 разложена на составляющие $\vec{X}_2$, $\vec{Y}_2$). Так как массой блока 3 пренебрегаем, то модули сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$ равны. Направления действия сил и момента показаны на рис. 5.18.

Уравнение вращательного движения барабана относительно оси z: $J_z\varepsilon_2 = \sum M_z(F_k) = M_{вр} - H_1'r$, где момент инерции барабана $J_z = \dfrac{m_2 r^2}{2}$.

Продифференцируем по времени равенство $V_1 = \omega_2 r$ и выразим угловое ускорение барабана через ускорение груза 1. Получим $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{r}$. Подставляя выражение углового ускорения в уравнение вращательного движения барабана с учётом равенства модулей сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$, напишем уравнения движения барабана и груза в виде системы уравнений:

$$m_1 a_1 = H_1 - P_1, \quad m_2 a_1 = \frac{2M_{вр}}{r} - 2H_1,$$

откуда находим a_1= 1,82 м/с^2, H_1 = 581,8 Н. Натяжение троса численно равно реакции.

Для определения реакции шарнира составим (формально) уравнение движения центра масс блока 2 в проекциях на оси x, y (см. рис. 5.18):

$$m_2 a_{Cx} = X_2 - H_1'\cos 30^\circ = 0, \; m_2 a_{Cy} = Y_2 + H_1'\cos 60^\circ - P_2 = 0.$$

Отсюда X_2 = 503,84 Н, Y_2 = – 94,7 Н, $R_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2}$ = 512,66 Н.

Задача 60. Барабан весом G, радиусом R имеет цилиндрический выступ радиусом r (рис. 5.19). Барабан скатывается по наклонной плоскости с углом наклона 30°, опираясь на неё поверхностью выступа. К барабану приложены постоянные силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$. Сила $\vec{F}_1$ направлена по касательной к поверхности барабана. Сила $\vec{F}_2$ действует под углом 30° к диаметру барабана, перпендикулярному наклонной плоскости. В начальный момент времени барабан приведён в равновесие парой сил с моментом M.

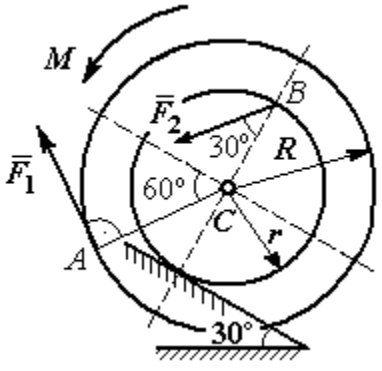


Рис. 5.19. Схема движения барабана по наклонной плоскости

Определить угловое ускорение барабана и закон движения центра масс, если в положении равновесия величину уравновешивающего момента увеличить в 1,2 раза. Исходные данные для решения задачи: R = 0,6 м, r = 0,2 м, G = 100 Н, F_1 = 60 Н, F_2 = 25 Н, радиус инерции барабана i_z = 0,4 м.

Решение

На барабан действуют силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, сила тяжести $\vec{G}$, пара сил с неизвестным моментом M, нормальная реакция опоры $\vec{N}$ и сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления барабана с поверхностью. Сила сцепления приложена в точке K касания выступа барабана с наклонной плоскостью и направлена вдоль неё (рис. 5.20).

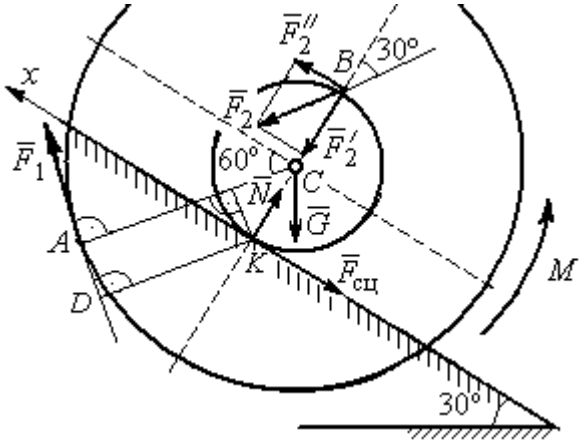


Рис. 5.20. Силы, действующие на барабан, во время движения

Для определения момента M, приводящего барабан в равновесие, запишем уравнение равновесия в виде равенства нулю моментов сил $\sum M_K(\vec{F}_k^e) = 0$ относительно точки K. Точка K выбрана с той целью, что в уравнение не будет входить момент неизвестной силы сцепления.

На рис. 5.20 показано разложение силы $\vec{F}_2$: $\vec{F}_2 = \vec{F}_2' + \vec{F}_2''$. Значения составляющих определяются как проекции: $F_2' = F_2\cos 30°$, $F_2'' = F_2\sin 30°$.

Применяя теорему Вариньона, вычислим момент силы $\vec{F}_2$ относительно точки K: $M_K(\vec{F}_2) = M_K(\vec{F}_2') + M_K(\vec{F}_2'') = F_2\sin 30° \cdot 2r$.

Момент силы $\vec{F}_1$ относительно точки K:

$$M_K(\vec{F}_1) = -F_1 \cdot KD = -F_1(R - r\cos 30°).$$

В результате уравнение моментов сил при равновесии барабана принимает вид

$$\sum M_K(\vec{F}_k^e) = -F_1(R - r\cos 30°) + F_2\sin 30° \cdot 2r - Gr\sin 30° + M = 0.$$

Подставляя сюда исходные данные задачи, находим величину уравновешивающего момента $M = 30{,}61$ Н·м. Направление момента показано дуговой стрелкой на рис. 5.20.

Увеличим значение момента M, удерживающего барабан в равновесии, в 1,2 раза: $M_1 = 1{,}2M$. Возникшее после этого качение барабана вверх по наклонной плоскости представляет собой плоскопараллельное движение, которое описывается с применением теорем о движении центра масс и об изменении кинетического момента.

Уравнение движения центра масс барабана в проекции на ось x, направленную вверх по наклонной плоскости, имеет вид:

$$m\ddot{x}_C = F_1\cos 30° + F_2\cos 60° - G\cos 60° - F_{\text{сц}},$$

где x_C – координата центра масс барабана.

Применив теорему об изменении кинетического момента барабана относительно оси z, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения и считая моменты сил положительными, если они создают вращение в сторону движущегося вверх барабана, выразим уравнение вращательного движения барабана вокруг оси z в виде:

$$J_{zC}\ddot{\varphi} = -F_1R + F_2r\cos 60° + F_{\text{сц}}r + M_1,$$

где φ – угол поворота барабана; J_{zC} – момент инерции барабана, $J_{zC} = mi_z^2$; i_z – радиус инерции. С учётом соотношения $\ddot{\varphi} = \dfrac{\ddot{x}_C}{r}$ получим уравнение:

$$m\ddot{x}_C\left(1 + \frac{i_z^2}{r^2}\right) = -F_1\left(\frac{R}{r} - \cos 30°\right) + 2F_2\cos 60° - G\cos 60° + \frac{M_1}{r}.$$

После подстановки данных задачи находим дифференциальное уравнение движения центра масс: $\ddot{x}_C = 0{,}6$. Дважды интегрируя его с нулевыми начальными условиями (так как движение началось из состояния покоя), находим закон движения центра масс: $x_C = 0{,}3t^2$ м. Из уравнения следует, что барабан движется в сторону положительного направления оси x.

Угловое ускорение барабана $\varepsilon = \ddot{\varphi} = \dfrac{\ddot{x}_C}{r}$ = 3 рад/с^2.

Задача 61. Механизм (рис. 5.21) включает в себя груз 1, каток 2 и ступенчатый барабан 3, соединённых нерастяжимыми нитями. Движение механизма происходит из состояния покоя в вертикальной плоскости под действием сил тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, силы $\vec{F}$, приложенной в центре масс катка 2, и пары сил с моментом M, приложенной к барабану 3. Качение катка 2 по наклонной плоскости с углом наклона к горизонту 30º происходит без проскальзывания.

Каток 2 считать однородным диском радиуса R_2. Радиусы ступеней барабана 3: R_3, r_3, радиус инерции барабана i_3.

Найти ускорение груза 1, силы натяжения нитей и динамическую реакцию шарнира барабана 3, если $P_1 = P_2 = 2P$; $P_3 = 3P$, $F = 3P$; $M = Pr$, $R_2 = 2r$; $R_3 = 3r$; $r_3 = r$; $i_3 = r\sqrt{3}$.

Решение

Рассмотрим движение каждого тела системы отдельно, предварительно освободив тела от связей и заменив их действие реакциями. На рис. 5.22 изображены силы, действующие на тела системы, после освобождения их от

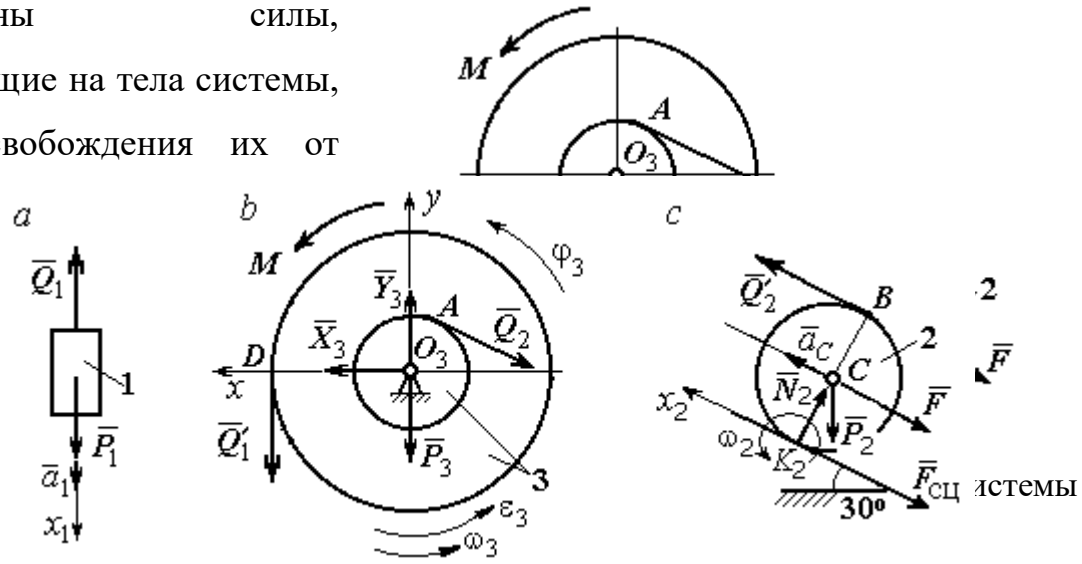


Рис. 5.22. Расчетные схемы для описания движения тел, входящих в систему

связей и направление движения каждого тела.

Допустим, груз движется вниз со скоростью V_1, ускорением a_1. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_1$ и реакция нити $\vec{Q}_1$ (рис. 5.22, *a*). Направим ось x_1 в сторону движения груза. Уравнение движения груза вдоль оси x_1 имеет вид:

$$m_1 a_1 = \sum F_{kx} = P_1 - Q_1 = 2P - Q_1 .$$

Барабан 3 вращается вокруг неподвижной оси z , проходящей через центр масс O_3. На диск 3 действует сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника $\vec{R}_3$ (на рис. 5.22, *b* показано разложение реакции на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$), пара сил с моментом M и реакции нитей $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_2$.

При составлении уравнения вращательного движения барабана моменты сил относительно оси считаем положительными, если они создают поворот в сторону вращения барабана. Уравнение вращения барабана 3 имеет вид:

$$J_{zO_3}\varepsilon_3 = \sum M_{zO_3}(F_k) = Q_1' R_3 + M - Q_2 r_3 = Q_1' 3r + Pr - Q_2 r ,$$

Момент инерции барабана относительно оси z: $J_{zO_3} = m_3 i_3^2 = \dfrac{9Pr^2}{g}$;

Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_2$, сила $\vec{F}$, реакция нити $\vec{Q}_2'$, нормальная реакция $\vec{N}_2$ наклонной плоскости и сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления диска с поверхностью (рис. 5.22, *c*).

Выберем ось x_2 по направлению движения центра масс катка 2. Плоскопараллельное движение катка описывается уравнениями движения его центра масс в проекции на ось x_2 и вращения вокруг оси, походящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска:

$$m_2 a_C = Q_2' - F - F_{\text{сц}} - P_2 \cos 60^\circ = Q_2' - 3P - F_{\text{сц}} - P ;$$

$$J_C \varepsilon_2 = Q_2' R_2 + F_{\text{сц}} R_2 = Q_2' 2r + F_{\text{сц}} 2r , \quad J_C = \frac{m_2 R_2^2}{2} .$$

При составлении второго уравнения момент силы считается положительным, если он создаёт поворот в сторону вращения катка.

К системе четырех уравнений, описывающих движения тел в системе, необходимо добавить уравнения связей между ускорениями точек и угловыми ускорениями тел. Предположим, скорость центра масс катка 2 равна V_C (см. рис. 5.22, *c*). Угловая скорость катка $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK_2} = \dfrac{V_C}{R_2}$, где CK_2 – расстояние от центра масс катка 2 до его мгновенного центра скоростей. Продифференцировав по времени последнее равенство, получим: $\varepsilon_2 = \dot{\omega}_2 = \dfrac{\dot{V}_C}{R_2} = \dfrac{a_C}{2r}$.

Скорость точки *B* катка 2 $V_B = \omega_2 \cdot BK_2 = 2V_C$. Приравняв скорость точки *A* к скорости точки *B* (см. рис. 5.21), получим: $2V_C = V_B = V_A = \omega_3 r_3 = \omega_3 r$, откуда $\omega_3 = \dfrac{2V_C}{r}$. После дифференцирования найдём: $\varepsilon_3 = \dfrac{2a_C}{r}$.

Скорость груза 1 связана со скоростью центра масс катка 2 следующим образом: $V_1 = V_D = \omega_3 R_3 = \dfrac{2V_C}{r} 3r = 6V_C$. Тогда ускорение груза 1 $a_1 = 6a_C$.

После подстановки уравнений связи в уравнения движения с учётом равенства модулей сил $\vec{Q}_1'$ и $\vec{Q}_1$, а также $\vec{Q}_2$ и $\vec{Q}_2'$ получим систему:

$$\frac{12P}{g} a_C = 2P - Q_1; \quad \frac{18P}{g} a_C = 3Q_1 + P - Q_2,$$

$$\frac{2P}{g} a_C = Q_2 - 4P - F_{\text{сц}}; \quad \frac{P}{g} a_C = Q_2 + F_{\text{сц}},$$

откуда находим: $a_C = 0{,}09g$, $Q_1 = 0{,}92P$, $Q_2 = 2{,}14P$.

Динамические реакции $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, действующие на ось вращающегося барабана 3 (рис. 5.22, *b*), определяются из уравнений, которые можно получить, формально применив к барабану теорему о движении центра масс. Так как центр масс барабана 3 неподвижен, его ускорение равно нулю, $a_{O_3} = 0$. Тогда уравнения движения его центра масс в проекциях на оси *x*, *y* имеют вид:

$$m_3 a_{O_3 x} = X_3 - Q_2 \cos 30^\circ = 0;$$

$$m_3 a_{O_3 y} = Y_3 - Q_1 - P_3 - Q_2 \cos 60^\circ = 0.$$

Подставляя значения $Q_1 = 0{,}92P$ и $Q_2 = 2{,}14P$, находим составляющие реакции оси барабана 3: $X_3 = Q_2 \cos 30^\circ = 1{,}85P$, $Y_3 = Q_1 + P_3 + Q_2 \cos 60^\circ = 4{,}98P$.

Полная величина реакции оси барабана 3: $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2} = 5{,}31P$.

Задача 62. Подъёмное устройство (рис. 5.23) состоит из однородного диска 1 массой m_1, радиусом r_1, ступенчатого диска 2 массой $m_2 = 3m_1$, радиусом $R_2 = 4r_1$ и радиусом ступеньки $r_2 = r_1$ и груза 3 массой $m_3 = 2m_1$. Система движется из состояния покоя в вертикальной плоскости под действием сил тяжести и пары сил с моментом $M = m_1 g r_1$, приложенной к диску 1. Определить ускорение груза 3 и натяжение нити груза 3, если радиус инерции ступенчатого диска относительно оси, походящей через центр масс, перпендикулярно плоскости диска 2, $i_{2C} = 2r_1$.

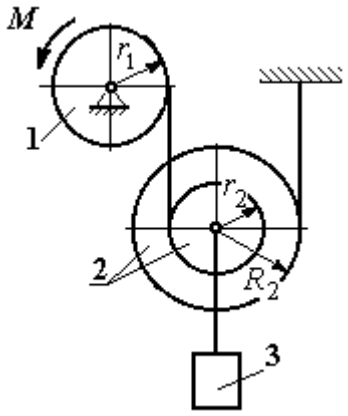


Рис. 5.23. Конструкция подъёмного устройства

Решение задачи осуществить с применением теоремы об изменении кинетической энергии системы и проверить его методом динамического расчёта, составляя уравнения движения тел, входящих в систему.

Решение

1. Для неизменяемой системы (состоящей из абсолютно твёрдых тел, соединённых нерастяжимыми нитями), движущейся из состояния покоя, теорема об изменении кинетической энергии на конечном перемещении имеет вид $T = \sum A(\vec{F}_k^e)$. Схема движения механизма в предположении, что груз 3 опускается, показана на рис. 5.24.

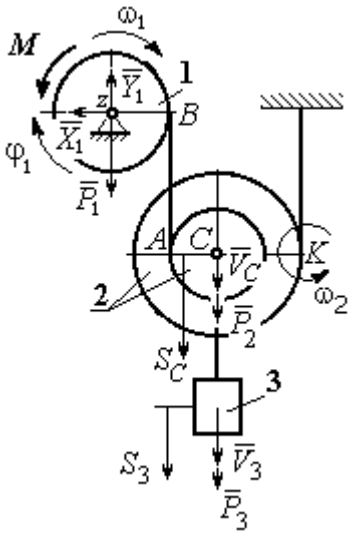


Рис. 5.24. Схема движения механизма

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси *z*. Кинетическая энергия диска 1: $T_1 = \frac{J_{1z}\omega_1^2}{2}$, где момент инерции диска $J_{1z} = \frac{m_1 r_1^2}{2}$.

У диска 2 плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия диска 2: $T_2 = \frac{m_2 V_C^2}{2} + \frac{J_{2C}\omega_2^2}{2}$, где V_C – скорость центра масс диска 2. Момент инерции диска 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно движению диска, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$.

Кинетическая энергия груза 3: $T_3 = \frac{m_3 V_3^2}{2}$.

Энергия механизма равна сумме энергий тел, входящих в систему:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{J_{1z}\omega_1^2}{2} + \frac{m_2 V_C^2}{2} + \frac{J_{2C}\omega_2^2}{2} + \frac{m_3 V_3^2}{2}.$$

Выразим угловые скорости дисков 1 и 2 и скорость центра масс диска 2 через скорость груза 3.

Скорость центра масс диска 2 равна скорости груза 3, $V_C = V_3$. Угловая скорость диска 2 $\omega_2 = \frac{V_C}{CK} = \frac{V_3}{R_2}$, где *CK* – расстояние от центра диска 2 до его мгновенного центра скоростей.

Скорость точки B нити равна скорости точки A. Из равенства $\omega_1 r_1 = \omega_2 (R_2 + r_2)$ найдём: $\omega_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\omega_2 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{V_3}{R_2}$.

Подставляя найденные зависимости в выражение энергии системы, получим кинетическую энергию механизма:

$$T = \frac{V_3^2}{2}\left[\frac{m_1}{2}\left(1+\frac{r_2}{R_2}\right)^2 + m_2\left(1+\frac{i_{2C}^2}{R_2^2}\right) + m_3\right] = \frac{209}{64}m_1 V_3^2.$$

Во время движения механизма работу совершают силы тяжести $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и пара сил с моментом M. Перемещения S_C и S_3 точек приложения сил $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и угол φ_1 поворота диска 1 показаны на рис. 5.24.

Сумма работ сил $\sum A(\vec{F}_k^e) = P_3 S_3 + P_2 S_C - M\varphi_1$. Работа момента отрицательная, так как заданное направление момента противоположно выбранному направлению вращения колеса 1.

Выразим перемещение центра масс диска 2 и угол поворота диска 1 через перемещение груза 3. Проинтегрировав равенство скоростей $V_3 = V_C$, получим равенство перемещений: $S_3 = S_C$. Аналогично, из равенства $\omega_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{V_3}{R_2}$ следует соотношение $\varphi_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{S_3}{R_2}$.

В итоге суммарная работа внешних сил в механизме:

$$\sum A(\vec{F}_k^e) = \left[P_3 + P_2 - M\frac{(r_2 + R_2)}{r_1 R_2}\right]S_3 = \frac{15}{4}m_1 g S_3.$$

Составляя уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы, получим равенство:

$$\frac{209}{64}m_1 V_3^2 = \frac{15}{4}m_1 g S_3 \text{ или } V_3^2 = \frac{240}{209}g S_3.$$

Продифференцируем последнее равенство. Получим: $2V_3\dfrac{dV_3}{dt}=\dfrac{240}{209}g\dfrac{dS_3}{dt}$. Так как $\dfrac{dS_3}{dt}=V_3$, а $\dfrac{dV_3}{dt}=a_3$, находим ускорение груза 3: $a_3=\dfrac{120}{209}g$ м/с^2.

Для того чтобы найти натяжение нити груза 3, необходимо написать уравнение его движения. Выделим груз 3 из системы, заменив действие нити её реакцией H_3. Выберем ось x по направлению движения груза. Применим к описанию движения груза теорему о движении центра масс, написав её проекцию на ось x: $m_3a_3=P_3-H_3$, где H_3 –реакция нити. При известном ускорении a_3 находим реакцию нити $H_3=\dfrac{178}{209}m_1g$. Натяжение нити численно равно реакции, но направлено в противоположную сторону.

2. Для решения задачи вторым способом – путём составления уравнений движения тел, входящих в состав механизма, освободим тела от связей и заменим их реакциями. На рис. 5.25 изображены силы и реакции, действующие на каждое тело, после освобождения его от связей, а также направления угловых ускорений тел и ускорения центров масс.

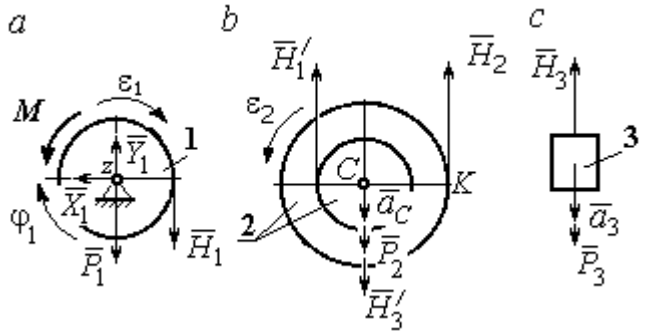


Рис. 5.25. Внешние силы и реакции связей, действующие на тела системы

Диск 1 вращается вокруг неподвижной оси z. На диск действует сила тяжести $\vec{P}_1$, реакция подшипника $\vec{X}_1$, $\vec{Y}_1$, пара сил с моментом M и реакция нити $\vec{H}_1$. Вращение диска описывается уравнением: $J_{1z}\varepsilon_1=\sum M_z(F_k)=H_1r_1-M$. Момент инерции диска 1 относительно оси z, $J_{1z}=\dfrac{m_1r_1^2}{2}$.

Диск 2 (рис. 5.25, *b*) совершает плоскопараллельное движение. К нему приложена сила тяжести $\vec{P}_2$ и реакции нитей $\vec{H}_1'$, $\vec{H}_2$ и $\vec{H}_3'$. Плоскопараллельное движение диска 2 описывается уравнением движения его центра масс в проекции

на вертикальную ось и уравнением вращения диска вокруг оси, походящей через центр масс перпендикулярно плоскости диска:

$$m_2 a_C = P_2 - H_1' - H_2 + H_3'; \;\; J_{2C}\varepsilon_2 = H_2 R_2 - H_1' r_2 .$$

Момент инерции диска 2 $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$. При составлении уравнения вращательного движения диска 2 момент силы считается положительным, если он создаёт поворот в сторону вращения диска.

Груз 3 совершает поступательное движение. К нему приложены сила тяжести $\vec{P}_3$ и реакция нити $\vec{H}_3$ (рис. 5.25, *c*). Уравнение движения груза 3 в проекции на вертикальную ось, направленную в сторону его движения, имеет вид:

$$m_3 a_3 = P_3 - H_3 ,$$

Выразим угловые ускорения дисков 1 и 2 и ускорение центра масс диска 2 через ускорение груза 3. Для этого нужно продифференцировать соответствующие кинематические соотношения между скоростями. Так, из найденных ранее выражений: $V_3 = V_C$, $\omega_2 = \dfrac{V_3}{R_2}$, $\omega_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{V_3}{R_2}$ следует:

$a_3 = a_C$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_3}{R_2}$, $\varepsilon_1 = \dfrac{(r_2 + R_2)}{r_1}\dfrac{a_3}{R_2}$.

Подставляя кинематические соотношения между ускорениями в уравнения движения тел с учётом равенства модулей сил $\vec{H}_1$ и $\vec{H}_1'$, а также $\vec{H}_3$ и $\vec{H}_3'$, получим систему уравнений, описывающих движение звеньев механизма:

$$\frac{5}{8} m_1 a_3 = H_1 - m_1 g ; \;\; 3m_1 a_3 = 3m_1 g - H_1 - H_2 + H_3 ;$$

$$3m_1 a_3 = 4H_2 - H_1 ; \;\; 2m_1 a_3 = 2m_1 g - H_3 .$$

Решая систему, найдём $a_3 = \dfrac{120}{209} g$ м/с^2, $H_3 = \dfrac{178}{209} m_1 g$. Выражения ускорения a_3 груза 3 и натяжения нити H_3 совпадают с аналогичными

выражениями, полученными в пункте 1 при решении данной задачи с применением теоремы об изменении кинетической энергии.

Упражнения

Упражнение 5.5. Система состоит из двух катков 1 и 2, соединённых невесомым стержнем (рис. 5.26). Каток 1 весом P, радиуса r. Каток 2 весом $2P$, радиуса $3r$ имеет цилиндрический выступ радиуса r. Невесомый стержень, параллельный плоскости качения катков, закреплён в центре катка 1 и передаёт движение катка 1 катку 2 в верхней точке вертикального диаметра цилиндрического выступа без проскальзывания. Качение катков без скольжения. К катку 1 приложена пара сил с моментом $M = 4Pr$. В центре масс катка 2 приложена сила $F = 2P$. Радиус инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр катка перпендикулярно плоскости движения, $i_2 = r\sqrt{2}$. Найти ускорение центра масс катка 1 и реакцию стержня.

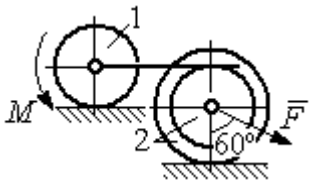


Рис. 5.26. Система катков

Упражнение 5.6. С помощью подъёмного устройства (рис. 5.27) производится подъём груза 1. Нить, закреплённая одним концом на неподвижной поверхности, спускается, охватывает снизу блок 2 массы $m_2 = m$, радиуса r, затем поднимается и проходит параллельно горизонтальной плоскости, где к концу её привязан груз 3 массы $m_3 = m$, передвигающийся по плоскости под действием силы $F = 2{,}5mg$. Нити, удерживающие блок 2, вертикальны. Груз 1 массы $m_1 = 3m$ прикреплён к оси блока 2. Найти ускорение груза 1 и натяжения нитей, удерживающих блок 2.

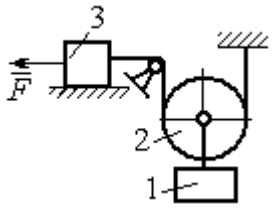


Рис. 5.27. Подъёмное устройство

Упражнение 5.7. Груз 1 массы $m_1 = m$, спускается вниз по наклонной плоскости без трения (рис. 5.28). Нить, прикреплённая к грузу 1, другим своим концом намотана на барабан катка 2 радиуса $R = 2r$ и при движении груза заставляет барабан катиться по горизонтальной поверхности цилиндрическим выступом радиуса r. Качение происходит без проскальзывания. К центру катка привязана другая нить, посредством которой каток тащит за собой груз 3 массы $m_3 = 2m$, скользящий по горизонтальной поверхности без трения. Масса катка $m_2 = 3m$, радиус инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения $i_2 = r\sqrt{3}$. По касательной к ободу катка 2 приложена сила $F = mg$ (точка приложения силы см. рис. 5.28). Определить ускорение груза 1 и натяжения нитей.

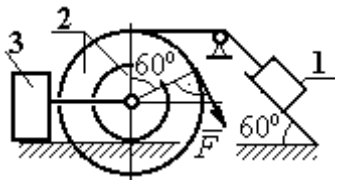


Рис. 5.28. Схема движения механической системы

6. ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ

6.1. Принцип Даламбера для системы

Силой инерции материальной точки называют векторную величину, модуль которой равен произведению массы точки на модуль её ускорения. Направлен вектор силы инерции точки в сторону, противоположную ускорению $\vec{R}^{\text{и}} = -m\vec{a}$, где m – масса точки; $\vec{a}$ – вектор ускорения точки.

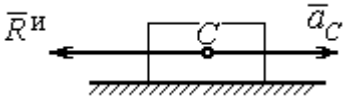


Рис. 6.1. Главный вектор сил инерции при поступательном движении твердого тела

При поступательном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ главный вектор сил инерции $\vec{R}^{\text{и}}$ по модулю $R^{\text{и}} = ma_C$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению $\vec{a}_C$ (рис. 6.1).

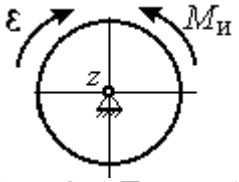


Рис. 6.2. Главный момент сил инерции при вращении тела вокруг оси, проходящей через центр масс

При вращении тела вокруг неподвижной оси z, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции обращается в нуль. Главный момент $\vec{M}^{\text{и}}$, сил инерции относительно оси вращения равен по величине $M^{\text{и}} = J_z\varepsilon$, где J_z – момент инерции тела относительно оси z; ε – угловое ускорение тела. Направлен главный момент сил инерции в сторону, противоположную угловому ускорению (рис. 6.2).

При плоскопараллельном движении тела с ускорением центра масс $\vec{a}_C$ и угловым ускорением ε главный вектор сил инерции $\vec{R}^{\text{и}}$ равен по модулю $R^{\text{и}} = ma_C$, приложен в центре масс тела и направлен в сторону, противоположную ускорению центра масс $\vec{a}_C$ (рис. 6.3).

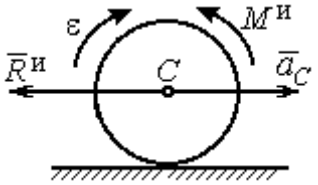


Рис. 6.3. Главный вектор и главный момент сил инерции при плоскопараллельном движении твердого тела

Главный момент сил инерции $\vec{M}^{\text{и}}$ относительно оси, проходящей через центр масс тела перпендикулярно плоскости движения: $M^{\text{и}} = J_C\varepsilon$, где J_C – момент инерции тела относительно оси вращения, и направлен в сторону, противоположную угловому ускорению.

Если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной.

Принцип Даламбера даёт возможность составлять уравнения движения механической системы в виде уравнений равновесия (метод кинетостатики):

$$\sum \vec{F}_k^e + \vec{R}^{\text{и}} = 0,\ \sum \vec{M}_O(\vec{F}_k^e) + \vec{M}_O^{\text{и}} = 0,$$

где $\vec{F}_k^e$ –внешние силы, действующие на систему; $\vec{R}^{\text{и}}$ – главный вектор сил инерции; $\vec{M}_O(\vec{F}_k^e)$, $\vec{M}_O^{\text{и}}$ – моменты внешних сил и главный момент сил инерции относительно произвольного центра *O*.

Примеры решения задач на применение принципа Даламбера

Задача 63. Груз 1 массы m_1 = 10 кг спускается вниз по наклонной грани клина, образующей угол 60º с горизонтом, и посредством нити, переброшенной через блок 2, укреплённый в верхней точке клина, приводит в движение груз 3 массы m_3 = 5 кг (рис. 6.4). Клин *ABC* массы m_4 = 15 кг стоит гранью *AC* на горизонтальной гладкой поверхности и упирается в выступ *E*.

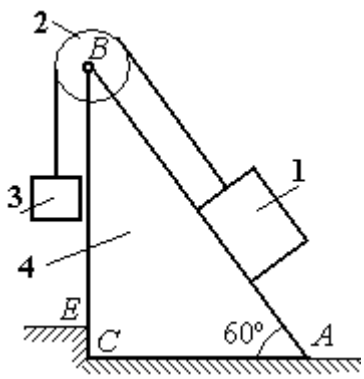


Рис. 6.4. Клин с грузами

Найти давление клина на выступ. Массой блока 2 и нити пренебречь.

Решение

Выберем систему, состоящую из клина *ABC*, блока 2, грузов 1 и 3 и нити, соединяющей грузы. Внешние силы, действующие на систему, – силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_3$ и $\vec{P}_4$ грузов 1, 3 и клина 4, горизонтальная реакция $\vec{R}_x$ упора клина в

выступ и вертикальная реакция $\vec{R}_y$ опоры на горизонтальную поверхность. Реакция нити, реакция опоры груза 1 на наклонную поверхность клина и реакция шарнира *B* блока 2 для данной системы являются внутренними.

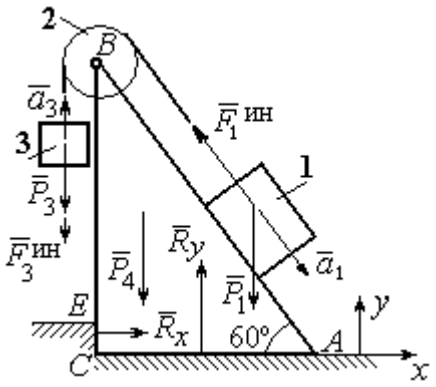


Рис. 6.5. Внешние силы и силы инерции, действующие на систему

Допустим, груз 1 движется вниз, груз 3 – вверх. Приложим силы инерции. Направления ускорений грузов и сил инерции показаны на рис. 6.5.

В соответствии с принципом Даламбера, полученная система сил находится в равновесии. Условие равновесия: $\sum \vec{F}_k^e + \vec{F}_1^{ин} + \vec{F}_3^{ин} = 0$.

Выберем оси *xy*, как показано на рис. 6.5, и спроектируем векторное равенство на ось *x*. Получим: $R_x - F_1^{ин}\cos 60^\circ = 0$, где модуль силы инерции $F_1^{ин} = m_1 a_1$.

Найдём ускорение груза 1. С этой целью рассмотрим отдельно движение грузов 1 и 3 (рис. 6.6 *a*, *b*).

Рассматривая груз 1 как отдельную систему, изобразим внешние силы: силу тяжести $\vec{P}_1$, реакцию нити $\vec{T}'$ и реакцию опоры $\vec{N}$ (см. рис. 6.6, *b*). Присоединим силу инерции $\vec{F}_1^{ин}$ и составим уравнение равновесия полученной системы сил в проекции на ось *x*, расположенную вдоль наклонной грани клина: $P_1 \sin 60^\circ - T' - F_1^{ин} = 0$, где $F_1^{ин} = m_1 a_1$.

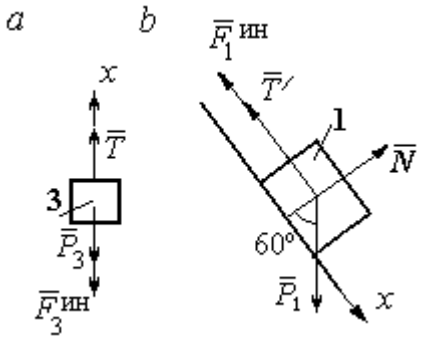


Рис. 6.6. Равновесие грузов

Для груза 3 внешними силами будут сила тяжести $\vec{P}_3$ и реакция нити $\vec{T}$. Присоединим к грузу 3 силу инерции $\vec{F}_3^{ин}$ (см. рис. 6.6, *a*) и составим уравнение

равновесия системы сил в проекции на ось x, выбранную по направлению движения груза 3: $T - P_3 - F_3^{\text{ин}} = 0$, где модуль силы инерции $F_3^{\text{ин}} = m_3 a_3$.

Решая полученную систему с учётом, что модули реакций нити и модули ускорений грузов равны: $T = T'$ и $a_1 = a_3$, находим ускорение грузов. Получим: $a_1 = a_3 = \dfrac{(m_1 \sin 60^\circ - m_3)g}{m_1 + m_3}$. Тогда давление клина на уступ:

$$R_x = F_1^{\text{ин}} \cos 60^\circ = m_1 g \frac{(m_1 \sin 60^\circ - m_3)}{(m_1 + m_3)} \cos 60^\circ .$$

Подставляя данные из условия задачи, найдём R_x = 11,97 Н.

Задача 64. Для подъёма грузов используется лебёдка со ступенчатым воротом, изображённая на рис. 6.7. Радиусы большой и малой ступенек барабана ворота r_1 и r_2, радиус инерции барабана относительно оси вращения i_3. Лебёдка установлена на горизонтальной балке AB, которая закреплена в точке A на неподвижном цилиндрическом шарнире и опирается на каток в точке B. Груз 1 поднимается на верёвке, навитой на большую ступеньку ворота. На малой ступеньке барабана ворота закреплена другая верёвка, удерживающая противовес 2. К барабану лебёдки приложен постоянный вращающий момент $M_{\text{вр}}$.

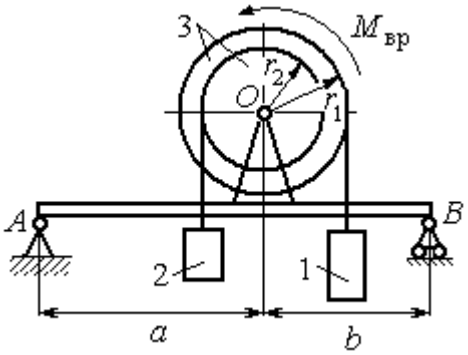


Рис. 6.7. Лебёдка на балке

Найти реакции опор балки во время движения груза, если радиусы ступенек барабана r_1 = 0,8 м, r_2 = 0,2 м, радиус инерции барабана относительно оси вращения i_3=0,6 м, масса груза 1 m_1 = 100 кг, противовеса 2 m_2 =30 кг, масса барабана m_1 = 50 кг, величина вращающего момента $M_{\text{вр}}$ = 1050 Н·м, расстояния от крайних точек балки A и B до линии вертикального диаметра барабана a = 2 м, b = 1 м.

Решение

Выберем систему, включающую только барабан 3, грузы 1 и 2 и нити, связывающие грузы с барабаном (рис. 6.8). Внешние силы, действующие на эту систему, – пара сил, создающая вращающий момент $M_{\text{вр}}$, силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ грузов 1, 2 и барабана 3 и реакция $\vec{R}_O$ опоры барабана на шарнир в точке O. Натяжения нитей для данной системы являются внутренними и на рис. 6.8 не показаны.

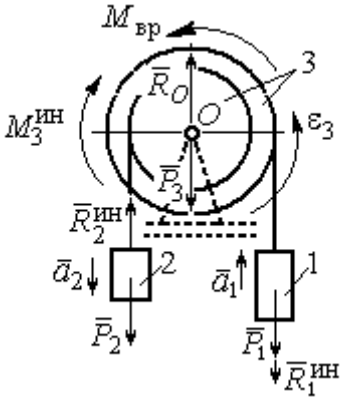


Рис. 6.8. Расчётная схема равновесия барабана

Приложим силы инерции. Направления главных векторов сил инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ и момента сил инерции $M_3^{\text{ин}}$ показаны на рис. 6.8.

Согласно принципу Даламбера, полученная система внешних сил и сил инерции является уравновешенной. Составим уравнения равновесия:

$$R_O + R_2^{\text{ин}} - P_2 - P_3 - P_1 - R_1^{\text{ин}} = 0; \;\; M_{\text{вр}} - M_3^{\text{ин}} - R_2^{\text{ин}} r_2 + P_2 r_2 - P_1 r_1 - R_1^{\text{ин}} r_1 = 0,$$

где $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$, $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$, $M_3^{\text{ин}} = J_{3O}\varepsilon_3$, $J_{3O} = m_3 i_3^2$.

Из второго уравнения с учётом кинематических соотношений: $\varepsilon_3 = \dfrac{a_1}{r_1}$ и $a_2 = \dfrac{r_2}{r_1} a_1$, найдём ускорение груза 1: $a_1 = \dfrac{r_1(M_{\text{вр}} + P_2 r_2 - P_1 r_1)}{m_3 i_3^2 + m_2 r_2^2 + m_1 r_1^2}$. Подставляя данные задачи, получим a_1 = 3,49 м/с^2.

Вычислим модули сил инерции $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$=349 Н; $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$ = 26,17 Н.

Подставляя модули сил инерции в первое уравнение условий равновесия, найдём реакцию опоры барабана на шарнир O:

$$R_O = -R_2^{\text{ин}} + P_2 + P_3 + P_1 + R_1^{\text{ин}} = 2088{,}63 \text{ Н}.$$

Для определения реакций опор балки AB выберем объектом равновесия саму балку (рис. 6.9). На балку действуют сила $\vec{R}'_O$ давления со стороны шарнира O, реакция шарнира в точке A (на рис. 6.9 разложенная на составляющие $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$) и реакция $\vec{R}_{By}$ опоры балки на шарнир в точке B. Составим уравнения равновесия балки:

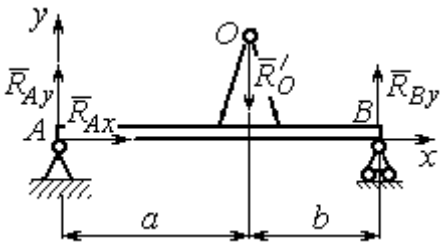


Рис. 6.9. Равновесие балки

$$\sum F_x = R_{Ax} = 0,\ \sum F_y = R_{Ay} - R'_O + R_{By} = 0,$$

$$\sum M_A(F) = R_{By}(a+b) - R'_O a = 0.$$

Решая систему с учётом того, что модули сил $\vec{R}'_O$ и $\vec{R}_O$ равны, найдём реакции опор балки: $R_{By} = R_O \dfrac{a}{a+b}$ = 1392,42 Н; $R_{Ay} = R_O - R_{By}$ = 696,21 Н.

Для сравнения реакции опор балки при неподвижном барабане R_{By} = 1419,18 Н, R_{Ay} = 346,62 Н.

Упражнение

Упражнение 6.1. Груз 1 соединён с грузом 2 нерастяжимой нитью, переброшенной через неподвижный блок (рис. 6.10). Опускаясь вниз, груз 2 перемещает груз 1 по горизонтальной поверхности призмы 3 без трения. Призма стоит на горизонтальной гладкой поверхности и упирается левым краем в выступ. Определить силу давления призмы на пол, если массы грузов 1, 2 и призмы 3 одинаковы и равны m. Массой нити и блока пренебречь.

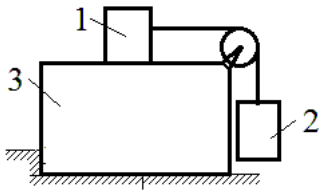


Рис. 6.10. Схема движения грузов в системе

6.2. Принцип возможных перемещений

Возможными перемещениями механической системы называют любую совокупность элементарных (бесконечно малых) перемещений точек системы из занимаемого в данный момент времени положения, которые допускаются всеми наложенными на систему связями.

Идеальными связями в механической системе называют такие связи, для

которых сумма элементарных работ их реакций на любом возможном перемещении равна нулю.

Принцип возможных перемещений.

Если все приложенные к точкам системы внешние и внутренние силы разделить на **активные силы** и **реакции связей**, то для равновесия механической системы с идеальными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма элементарных работ всех активных сил была равна нулю на любом возможном перемещении системы: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = 0$.

Примеры решения задач на применение принципа возможных перемещений

Задача 65. В талевом механизме барабан 1 состоит из двух соосных жестко связанных валов (рис. 6.11). При поднятии груза верхний трос барабана 1 наматывается на вал большего радиуса R_1, нижний – сматывается с вала меньшего радиуса r_1.

Какой вращающий момент M, постоянный по величине, нужно приложить к барабану, чтобы уравновесить груз весом P, прикреплённый в центре блока 4. Массами блоков и троса пренебречь.

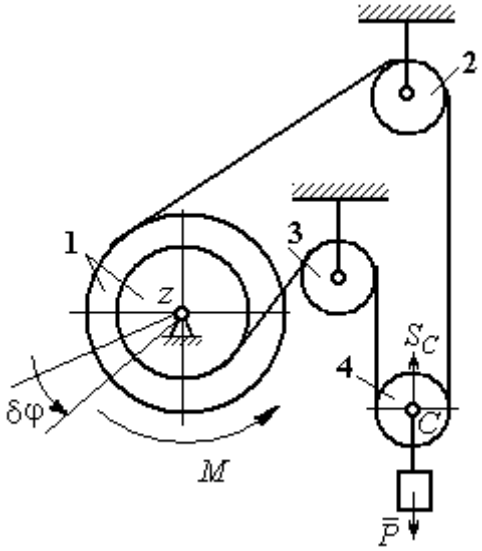


Рис. 6.11. Уравновешивание талевого механизма

Решение

Активными силами в системе являются сила тяжести груза $\vec{P}$ и уравновешивающий момент M. По принципу возможных перемещений для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия:

$$\delta A(M) + \delta A(\vec{P}) = 0, \text{ или } M\delta\varphi_1 - P\delta S_C = 0.$$

где $\delta\varphi_1$ и δS_C – возможные перемещения барабана и груза.

Найдём связь между перемещениями $\delta\varphi_1$ и δS_C. Предположим, в механизме осуществляется подъём груза. На рис. 6.12 показано построение мгновенного центра скоростей блока 4 – точки *K*. Здесь скорость точки *A* блока 4 (рис. 6.12) равна скорости точек обода малого вала барабана 1, а скорость точки *B* – скорости точек обода большого вала. Составим пропорцию $\frac{V_B}{V_A}=\frac{BK}{AK}=\frac{r_4+CK}{r_4-CK}$, где r_4 – радиус блока 4 (см. рис.6.12). Подставляя выражения для скоростей точек *A* и *B* $V_A=\omega_1 r_1$, $V_B=\omega_1 R_1$, найдём расстояние: $CK=\frac{(R_1-r_1)r_4}{R_1+r_1}$.

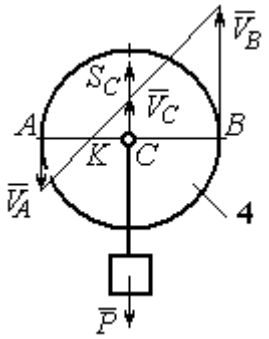


Рис. 6.12. Распределение скоростей точек блока 4

Угловая скорость блока 4 $\omega_4=\frac{V_B}{r_4+CK}=\frac{\omega_1(R_1+r_1)}{2r_4}$. Скорость его центра: $V_C=\omega_4\cdot CK=\frac{\omega_1(R_1-r_1)}{2}$. Выразим соотношение между скоростью точки *C* и угловой скоростью барабана 1 в дифференциальной форме: $dS_C=d\varphi_1\frac{(R_1-r_1)}{2}$. Поскольку действительное перемещение является одним из возможных (т. е. $ds=\delta s$, $d\varphi=\delta\varphi$), получим связь между возможными перемещениями барабана 1 и груза: $\delta S_C=\frac{\delta\varphi_1(R_1-r_1)}{2}$.

Подставляя найденное соотношение в уравнение принципа возможных перемещений, представим его в окончательном виде: $M\delta\varphi_1-P\frac{\delta\varphi_1(R_1-r_1)}{2}=0$, откуда найдём значение уравновешивающего момента: $M=\frac{P(R_1-r_1)}{2}$.

Задача 66. Брус 1 весом $P_1 = P$ лежит на цилиндрическом катке 2 и на блоке 3 одинаковых радиусов r, и одинакового веса $P_2 = P_3 = 2P$ (рис. 6.13). Каток 2 катится без проскальзывания по наклонной плоскости с углом наклона 30º к горизонту. Блок 3 вращается вокруг неподвижной оси z и к нему приложена пара сил с моментом $M = =Pr$. Каток и блок расположены так, что брус 1 параллелен наклонной плоскости.

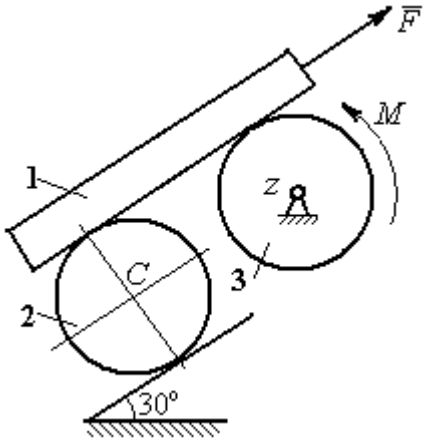


Рис. 6.13. Равновесие механической системы

Какую силу F, параллельную наклонной плоскости, нужно приложить к брусу 1, чтобы удержать его в равновесии. Скольжение между брусом и катком, брусом и блоком отсутствует.

Решение

Рассмотрим механизм, состоящий из бруса 1, катка 2 и блока 3. Активными силами, действующими на механизм, являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ бруса, катка и блока, пара сил с моментом M, приложенная к блоку 3, и сила $\vec{F}$, приложенная к брусу. Связи в механизме идеальные, так как работа реакции $\vec{N}_2$ опоры катка 2 на плоскость, работа силы $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления катка с плоскостью и работа реакции шарнира блока 3 при любом перемещении системы равны нулю. Направления векторов сил в системе показаны на рис. 6.14.

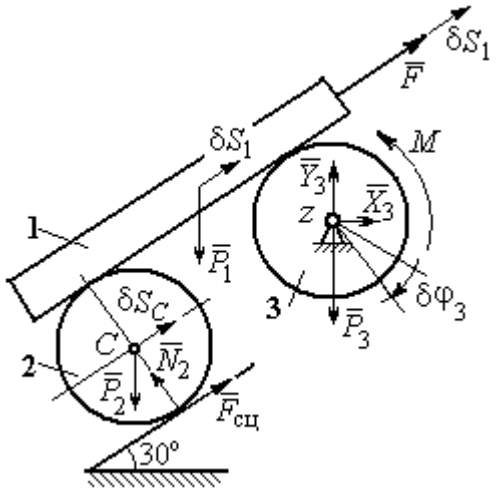


Рис. 6.14. Расчётная схема применения принципа возможных перемещений

Придадим системе возможное перемещение, сдвинув брус 1 на расстояние δS_1 вдоль линии действия силы $\vec{F}$, вверх по наклонной плоскости. Тогда центр

катка 2 переместится на расстояние δS_C, а блок 3 повернётся на элементарный угол $\delta\varphi_3$ (см. рис. 6.14).

Для определения условий равновесия применим к системе принцип возможных перемещений. Получим уравнение:

$$-P_1\delta S_1\cos 60^\circ - P_2\delta S_C\cos 60^\circ - M\delta\varphi_3 + F\delta S_1 = 0.$$

Выразим все перемещения через перемещение бруса δS_1. Допустим, скорость бруса равна V_1. Тогда $V_C = \frac{V_1}{2}$, и, следовательно, $\delta S_C = \frac{\delta S_1}{2}$.

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \frac{V_1}{r}$, отсюда $\delta\varphi_3 = \frac{\delta S_1}{r}$.

Подставляя найденные соотношения в уравнение принципа возможных перемещений с учётом данных задачи, находим $F = 2P$.

Задача 67. Уравновешивание роликового катка 3 с противовесом 1 осуществляется с помощью пары сил с моментом *M*, приложенных к блоку 2. Каток состоит из двух соосных жестко связанных дисков (рис. 6.15) радиусов *r* и *R* = 2*r* с общей массой 3*m*. Масса груза 1 равна *m*. При движении каток катится без скольжения по вертикальной поверхности, касаясь её диском меньшего радиуса. Вертикальная пружина с закреплённым верхним концом своим нижним концом удерживает каток за центр масс. Жесткость пружины $c = mg/r$.

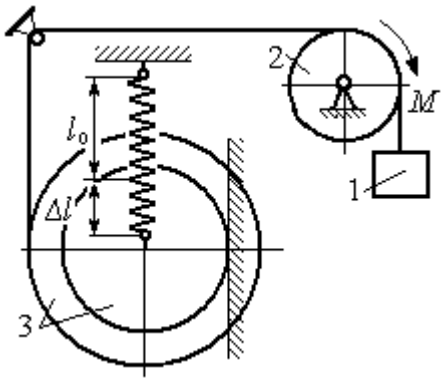


Рис. 6.15. Уравновешивание роликового катка

Какой величины уравновешивающий момент *M* приложен к блоку 2, если при равновесии катка пружина растянулась относительно недеформированного состояния на величину $\Delta l = r$.

Решение

Рассмотрим механическую систему, состоящую из груза 1, блока 2 и катка 3. Активными силами, действующими на механизм, являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ – груза, блока и катка, пара сил с моментом M, приложенная к блоку 2, и сила $\vec{F}_{\text{упр}}$ упругости пружины, приложенная к центру катка. Реакциями связей в механизме являются: сила $\vec{F}_{\text{сц}}$ сцепления катка с плоскостью и реакция $\vec{R}_2$ шарнира блока 2.

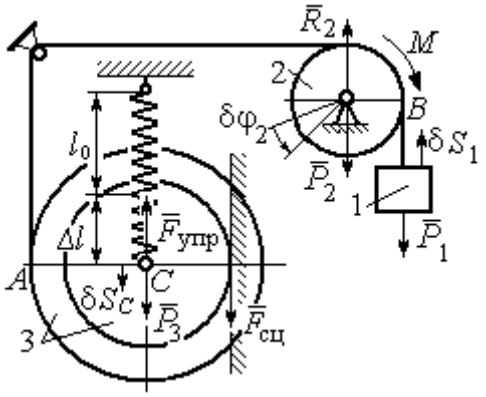


Рис. 6.16. Расчётная схема уравновешивания ролика

Реакция $\vec{N}_2$ опоры катка 2 на вертикальную плоскость равна нулю (на рис. 6.16 не показана).

Допустим, система находится в равновесии. Дадим центру катка возможное перемещение δS_C, направленное вертикально вниз. При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2$, а груз 1 получит бесконечно малое перемещение δS_1. Направления возможных перемещений показаны на рис. 6.16.

Составим уравнение принципа возможных перемещений:

$$P_3\delta S_C - F_{\text{упр}}\delta S_C + M\delta\varphi_2 - P_1\delta S_1 = 0,$$

где сила упругости в положении равновесия системы $F_{\text{упр}} = c\Delta l$.

Выразим перемещения $\delta\varphi_2$, δS_1 блока 2 и груза 1 через перемещение центра катка δS_C. Предположим, при возможном перемещении скорость центра масс катка равна V_C. Скорость груза 1 равна скорости точки A на ободе большого диска катка: $V_1 = V_A = \dfrac{R+r}{r}V_C$. Здесь учтено, что точка касания катка с вертикальной поверхностью является его мгновенным центром скоростей. Угловая скорость блока 2 $\omega_2 = \dfrac{V_A}{r} = \dfrac{R+r}{r^2}V_C$.

Представляя кинематические соотношения в дифференциальном виде, получим необходимые связи между возможными перемещениями:

$$\delta S_1 = \frac{R+r}{r}\delta S_C = 3\delta S_C;\ \ \delta\varphi_2 = \frac{R+r}{r^2}\delta S_C = \frac{3\delta S_C}{r}.$$

Окончательно уравнение принципа возможных перемещений выражается в виде: $P_3\delta S_C - c\Delta l\delta S_C + M\frac{3\delta S_C}{r} - P_1 3\delta S_C = 0$. Величина уравновешивающего момента $M = \frac{1}{3}mgr$.

Упражнения

Упражнение 6.2. Штамповка деталей осуществляется при помощи рычажного пресса (рис. 6.17). Найти соотношение между силой *F*, приложенной к внешнему рычагу, и силой *Q*, сжимающей деталь *A* вдоль центральной оси.

Длины рычагов *a*, *b*, *c*, *d* показаны на рис. 6.17.

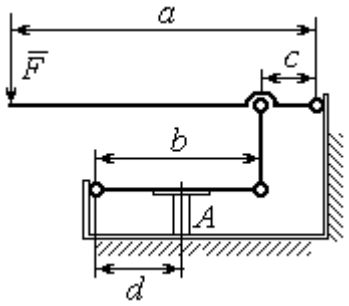


Рис. 6.17. Рычажный пресс

Упражнение 6.3. Конструкция состоит из двух валов, находящихся во внешнем зацеплении, и двух грузов, удерживающихся нитями, намотанными валы (рис. 6.18).

Радиус вала 1 $R_1 = r$. Вал 2 состоит из двух барабанов, жестко скреплённых на одной оси. Радиусы барабанов: $R_2 = 3r$, $r_2 = r$.

Найти величину уравновешивающего момента M_2, приложенного к валу 2, если к валу 1 приложена пара сил с моментом $M_1 = 2Pr$, а грузы 3 и 4 одинакового веса *P*.

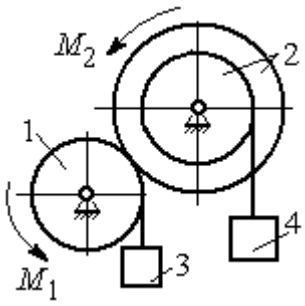


Рис. 6.18. Схема уравновешивания валов

6.3. Общее уравнение динамики

При движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ активных сил и сил инерции на любом возможном перемещении равна нулю:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0,$$

где $\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}})$, $\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}})$ – элементарные работы активных сил и сил инерции, приложенных к точкам системы на её возможном перемещении.

При вычислении элементарных работ активных сил и сил инерции используют обычные формулы для вычисления работы сил на элементарном перемещении точек их приложения.

Примеры решения задач на применение общего уравнения динамики

Задача 68. Механическая система включает груз 1, ступенчатый диск 2 (каток), катящийся ступенькой по неподвижному рельсу, и однородный диск 3 (блок), вращающийся вокруг неподвижной оси, соединённых нерастяжимыми нитями (рис. 6.19). Качение ступенчатого диска происходит без скольжения. К грузу 1 приложена сила $\vec{F}$ под углом 30° к горизонтальному направлению движения груза. К блоку 3 приложена пара сил с моментом M. Найти закон движения центра масс катка 2 и реакцию шарнира блока 3 в момент времени t = 1 с, если P_1= 10 Н; P_2 = 20 Н; P_3 = 15 Н; $F = 5(t+1)$ Н; $M = 3(1+2t)$ Н·м; R_2 = 0,8 м; r_2 = 0,2 м; R_3 = 0,4 м; момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, i_{2C} = 0,6 м.

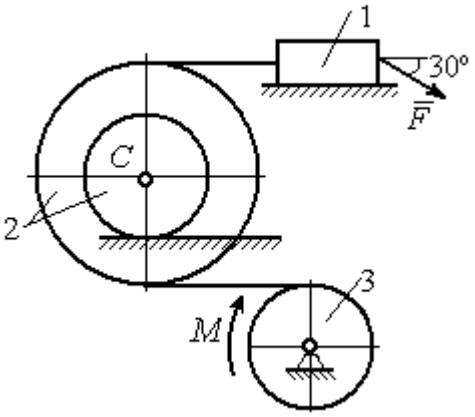


Рис. 6.19. Схема движения механической системы

Решение

В рассматриваемой механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом M (рис. 6.20).

Реакциями связей являются нормальные реакции опор: $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$, сила сцепления катка 2 с неподвижной поверхностью $\vec{F}_{\text{сц}}$ и реакция шарнира O блока 3 (на рис. 6.20 реакция показана в виде разложения на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$). Связи идеальные, так как скольжение груза 1 происходит по гладкой поверхности, качение диска 2 без проскальзывания, а ось вращения блока 3 неподвижна.

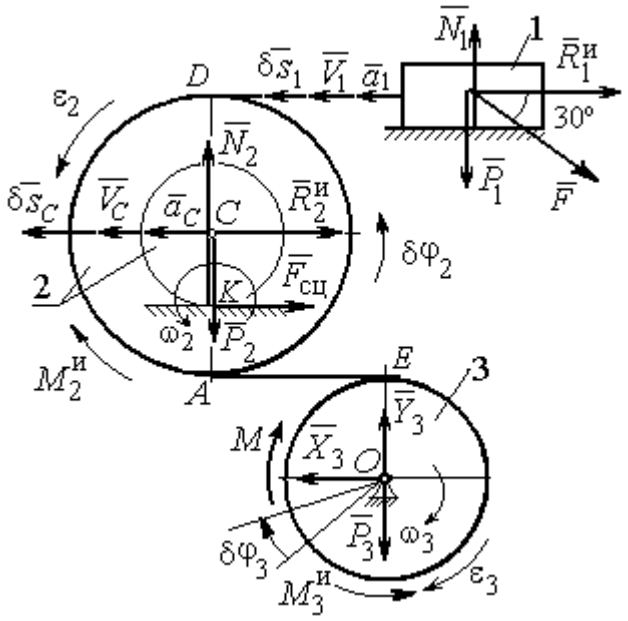


Рис. 6.20. Расчётная схема исследования движения механической системы

Предположим, система движется так, что блок 3 вращается с угловой скоростью ω_3 и угловым ускорением ε_3 в направлении поворота, создаваемого моментом M. Соответствующие направления скорости $\vec{V}_C$ и ускорения $\vec{a}_C$ центра масс катка 2, его угловой скорости ω_2 и ускорения ε_2, а также направление скорости $\vec{V}_1$ и ускорения $\vec{a}_1$ груза 1 показаны на рис. 6.20.

Присоединим к телам системы силы инерции. Главные векторы $\vec{R}_1^{\text{и}}$, $\vec{R}_2^{\text{и}}$ сил инерции груза 1 и катка 2 приложены в центрах масс груза и катка и направлены в сторону, противоположную ускорениям $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_C$. Главные моменты $\vec{M}_2^{\text{и}}$, $\vec{M}_3^{\text{и}}$ сил инерции катка 2 и блока 3 направлены в сторону, противоположную угловым ускорениям ε_2 и ε_3.

Главные векторы и главные моменты сил инерции показаны на рис. 6.20.

Для механической системы с идеальными связями общее уравнение

динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0.$$

Угловая скорость катка 2 $\omega_2 = \dfrac{V_C}{CK} = \dfrac{V_C}{r_2}$. Здесь учтено, что в точке K находится мгновенный центр скоростей катка (см. рис. 6.20). Скорость точки E блока 3 равна скорости точки A катка 2 (см. рис. 6.20):

$$V_E = V_A = \omega_2 \cdot AK = \omega_2 (R_2 - r_2) = V_C \frac{R_2 - r_2}{r_2}.$$

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \dfrac{V_E}{R_3} = V_C \dfrac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}$.

Скорость груза 1 равна скорости точки D катка 2:

$$V_1 = V_D = \omega_2 \cdot DK = \omega_2 (R_2 + r_2) = V_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}.$$

Соотношения между ускорениями определяются путем дифференцирования установленных кинематических равенств:

$$a_1 = a_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{a_C}{r_2}, \quad \varepsilon_3 = a_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Если выразить скоростные кинематические соотношения в дифференциальном виде, то, полагая действительное перемещение возможным (т. е. $ds = \delta s$, $d\varphi = \delta\varphi$), получим соотношения между перемещениями:

$$\delta s_1 = \delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}, \ \delta\varphi_2 = \frac{\delta s_C}{r_2}, \ \delta\varphi_3 = \delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2}.$$

Найдем элементарные работы активных сил.

Работы сил тяжести груза 1 и катка 2 равны нулю, так как перемещения точек приложения сил перпендикулярны векторам сил.

Работа силы тяжести блока 3 также равна нулю, поскольку точка приложения силы тяжести блока 3 не перемещается:

$$\delta A(\vec{P}_1) = P_1 \delta s_1 \cos 90^\circ = 0; \ \ \delta A(\vec{P}_2) = P_2 \delta s_C \cos 90^\circ = 0; \ \delta A(\vec{P}_3) = 0.$$

Работу совершают только пара сил с моментом M и сила $\vec{F}$:

$$\delta A(\vec{M}) = M\delta\varphi_3 = M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2};$$

$$\delta A(\vec{F}) = F\delta s_1 \cos 150^\circ = -F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ.$$

В результате сумма элементарных работ активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = \delta A(\vec{M}) + \delta A(\vec{F}) =$$

$$= M\delta s_C \frac{(R_2 - r_2)}{R_3 r_2} - F\delta s_C \frac{(R_2 + r_2)}{r_2}\cos 30^\circ = (0{,}85 + 23{,}35t)\delta s_C .$$

Определим модули главных векторов и главных моментов сил инерции:

$$R_1^{\text{и}} = m_1 a_1 = \frac{P_1}{g}\frac{(R_2 + r_2)}{r_2} a_C, \quad R_2^{\text{и}} = m_2 a_C = \frac{P_2 a_C}{g};$$

$$M_2^{\text{и}} = J_{2C}\varepsilon_2 = \frac{P_2}{g} i_{2C}^2 \frac{a_C}{r_2};$$

$$M_3^{\text{и}} = J_{3O}\varepsilon_3 = \frac{P_3 R_3}{2g}\frac{(R_2 - r_2)}{r_2} a_C,$$

где J_{2C} – момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{2C} = m_2 i_{2C}^2$; i_{2C} – радиус инерции катка; J_{3O} – осевой момент инерции блока 3, $J_{3O} = \frac{m_3 R_3^2}{2}$.

Найдем элементарные работы сил инерции:

$$\delta A(\vec{R}_1^{\text{и}}) = -R_1^{\text{и}}\delta s_1 = -\frac{P_1(R_2 + r_2)^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{R}_2^{\text{и}}) = -R_2^{\text{и}}\delta s_C = -\frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_2^{\text{и}}) = -M_2^{\text{и}}\delta\varphi_2 = -\frac{P_2 i_2^2 a_C}{g r_2^2}\delta s_C;$$

$$\delta A(\vec{M}_3^{\text{и}}) = -M_3^{\text{и}}\delta\varphi_3 = -\frac{P_3(R_2 - r_2)^2 a_C}{2gr_2^2}\delta s_C .$$

Сумма элементарных работ сил инерции:

$$\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = -\frac{P_1(R_2 + r_2)^2 a_C}{gr_2^2}\delta s_C - \frac{P_2 a_C}{g}\delta s_C - \frac{P_2 i_2^2 a_C}{gr_2^2}\delta s_C -$$

$$-\frac{P_3(R_2 - r_2)^2 a_C}{2gr_2^2}\delta s_C = -52{,}75\, a_C \delta s_C, \text{ где } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2.$$

С учетом проделанных вычислений общее уравнение динамики принимает вид: $\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = (0{,}85 + 23{,}35t)\delta s_C - 52{,}75\, a_C \delta s_C = 0$, откуда найдём ускорение центра масс катка 2 как функцию времени:

$$a_C(t) = 0{,}02 + 0{,}45t .$$

Представляя ускорение a_C в виде второй производной координаты движения центра масс $a_C = \ddot{s}_C$, получим дифференциальное уравнение $\ddot{s}_C = 0{,}02 + 0{,}45t$. Дважды проинтегрировав это уравнение с нулевыми начальными условиями, найдём закон движения центра масс:

$$s_C = 0{,}01t^2 + 0{,}075t^3 .$$

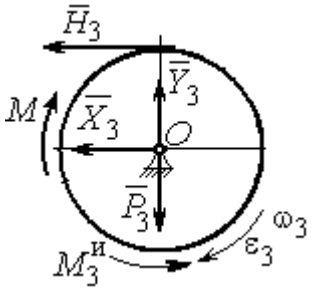


Рис. 6.21. Вращение блока 3

Рассмотрим вращательное движение блока 3, освободив его от связей. На блок действуют сила тяжести $\vec{P}_3$, реакция подшипника, разложенная на составляющие $\vec{X}_3$, $\vec{Y}_3$, пара сил с моментом M и реакция нити $\vec{H}_3$ (рис. 6.21). Присоединим к блоку 3 силы инерции. При вращательном движении блока вокруг оси, проходящей через центр масс, главный вектор сил инерции равен нулю. Главный момент сил инерции $M_3^{\text{и}}$ направлен в сторону, противоположную угловому ускорению блока 3.

По принципу Даламбера система сил, приложенных к блоку 3, включая силы инерции, находится в равновесии. Составим уравнение равновесия в виде равенства нулю суммарного момента всех сил относительно оси вращения: $M - H_3 R_3 - M_3^{\text{и}} = 0$, откуда найдём реакцию нити: $H_3 = \dfrac{M}{R_3} - \dfrac{M_3^{\text{и}}}{R_3}$. Подставляя в уравнение величину модуля главного момента сил инерции блока 3 $M_3^{\text{и}}(1)$ = 0,7 Н·м и значение момента, приложенного к блоку 3, в момент времени t = 1 с, $M(1)$ = 9 Н·м найдём реакцию нити $H_3(1)$= 20,75 Н.

Уравнения равновесия, составленные в виде проекций сил на вертикальную и горизонтальную оси (см. рис. 6.21), имеют вид:

$$X_3 + H_3 = 0,\ Y_3 - P_3 = 0.$$

Составляющие реакции шарнира блока 3 в момент времени t = 1 с: X_3= – 20,75 Н, Y_3=15 Н. Полная реакция шарнира $R_3 = \sqrt{X_3^2 + Y_3^2}$ = 25,6 Н.

Задача 69. Груз 2 весом P_2, поднимаемый лебёдкой (рис. 6 22), подвешен в центре подвижного блока 3 весом P_3. Нерастяжимая нить одним концом прицеплена к грузу 1 весом P_1, лежащему на наклонной плоскости. Другой конец, переброшенный через невесомый блок B, охватывает снизу подвижный блок 3 радиуса r и закреплён в вертикальном положении. К грузу 1 приложена сила $\vec{F}$, направленная вдоль наклонной плоскости.

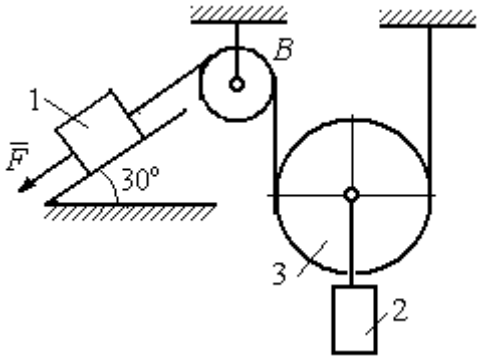


Рис. 6.22. Схема подъёмного устройства

Найти закон движения поднимаемого груза, если $P_1 = P_3 = P$, $P_2 = 3P$, $F = 2P$ и движение началось из состояния покоя.

Решение

Применим к решению задачи общее уравнение динамики. В данной механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и сила $\vec{F}$ (рис. 6.23). Реакциями связей являются реакция шарнира блока B и

реакция опоры груза 1 (на рис. 6.23 не показаны). Связи идеальные, так как работа реакций связей равна нулю.

Предположим, груз 1 спускается вниз по наклонной плоскости с ускорением a_1. Приложим к телам системы силы инерции. Главные вектора сил инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$ и $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ грузов 1 и 2, движущихся поступательно, приложены в центрах масс грузов и направлены противоположно векторам ускорений тел. Главный вектор $\vec{R}_3^{\text{ин}}$ сил инерции блока 3 приложен в центре масс блока 3 и направлен противоположно вектору ускорения его центра масс. Главный момент сил инерции $M_3^{\text{ин}}$ относительно оси, проходящей через центр масс блока 3 перпендикулярно плоскости движения, направлен в сторону, противоположную направлению углового ускорения блока 3, совпадающего с направлением углового движения. Направления главных векторов и главного момента сил инерции тел показаны на рис. 6.23.

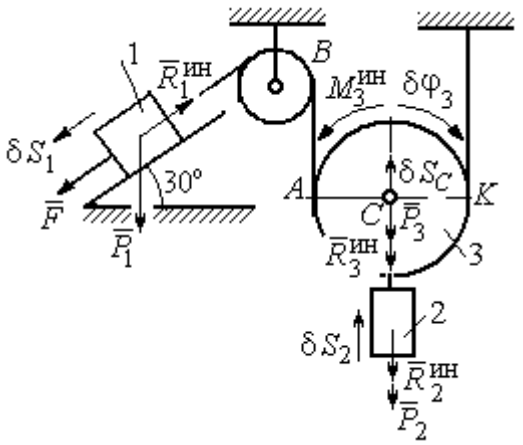


Рис.6.23. Активные силы и силы инерции, приложенные к системе

Дадим системе возможное перемещение, при котором груз 1 спустился вниз по наклонной плоскости на расстояние δS_1. В соответствии с приложенными в системе связями центр масс подвижного блока 2 и груз 2 переместились вверх на высоту δS_C, а сам блок повернулся на угол $\delta\varphi_3$ (см. рис. 6.23).

Составим общее уравнение динамики $\sum\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum\delta A(\vec{R}_k^{\text{и}}) = 0$. Получим

$$F\delta S_1 + P_1\delta S_1\cos 60° - P_2\delta S_2 - P_3\delta S_C -$$

$$- R_1^{\text{ин}}\delta S_1 - R_2^{\text{ин}}\delta S_C - R_3^{\text{ин}}\delta S_C - M_3^{\text{ин}}\delta\varphi_3 = 0,$$

где модули сил инерции $R_1^{ин} = m_1 a_1$, $R_2^{ин} = m_2 a_2$, $R_3^{ин} = m_3 a_C$, $M_3^{ин} = \frac{m_3 r^2}{2}\varepsilon_3$.

Выразим перемещение δS_2 и ускорение a_2 груза 2, а также поворот $\delta\varphi_3$ и угловое ускорение ε_3 подвижного блока 3 через перемещение δS_1 и ускорение a_1 груза 1.

Угловая скорость блока 3 $\omega_3 = \frac{V_A}{AK} = \frac{V_1}{2r}$. Здесь учтено, что точка K блока 3 является его мгновенным центром скоростей. Тогда, элементарный поворот блока $\delta\varphi_3 = \frac{\delta S_1}{2r}$, а его угловое ускорение $\varepsilon_3 = \frac{a_1}{2r}$.

Скорость центра масс блока 3 и скорость груза 2: $V_2 = V_C = \frac{V_1}{2}$. Из этого равенства следует, что: $\delta S_2 = \delta S_C = \frac{\delta S_1}{2}$, $a_2 = a_C = \frac{a_1}{2}$.

Подставляя найденные соотношения в общее уравнение динамики с учётом данных задачи, окончательно получим уравнение: $\frac{1}{2}P\delta S_1 = \frac{17}{8g}Pa_1\delta S_1$.

Отсюда $a_1 = \frac{4}{17}g = 0{,}23g$. Ускорение груза 2, $a_2 = \frac{a_1}{2} = 0{,}12g$.

Представим ускорение груза 2 в виде второй производной координаты его движения. Получим дифференциальное уравнение: $\ddot{S}_2 = 0{,}12g$. Дважды проинтегрировав его с нулевыми начальными условиями, найдём закон движения груза: $S_2 = 0{,}06gt^2$.

Задача 70. Грузы 1 и 2 весом $P_1 = 20$ Н и $P_2 = 30$ Н привязаны к нерастяжимой нити. Нить переброшена через неподвижные блоки B и D и охватывает снизу подвижный блок 3 весом $P_3 = 40$ Н (рис. 6.24). Определить ускорения грузов 1 и 2 и центра масс блока 3. Весом неподвижных блоков B и D пренебречь.

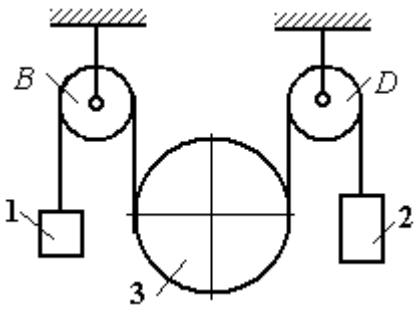


Рис. 6.24. Механическая система с двумя степенями свободы

Решение

В данной механической системе активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ (рис. 6.25), а реакциями связей – реакции шарниров блоков B и D. Связи идеальные, так как оси вращения блоков B и D неподвижны.

Применим к решению задачи общее уравнение динамики. Система имеет две степени свободы. В этом случае общее уравнение динамики необходимо составлять для каждого из независимых перемещений.

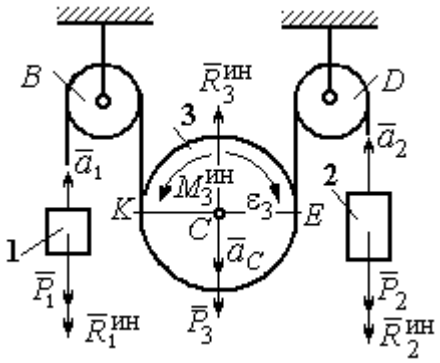


Рис.6.25. Активные силы и силы инерции, приложенные к системе

Предположим, система движется так, что оба груза 1 и 2 равноускоренно перемещаются вверх. Скорости грузов $\vec{V}_1$, $\vec{V}_2$, ускорения – $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_2$. Блок 3 опускается вниз с ускорением центра $\vec{a}_C$, вращается и имеет угловое ускорение ε_3, направленное по ходу часовой стрелки (см. рис. 6.25).

Приложим к телам системы силы инерции (см. рис. 6.25). Модули сил инерции: $R_1^{\text{ин}} = m_1 a_1$, $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_2$, $R_3^{\text{ин}} = m_3 a_C$. Главный момент сил инерции блока 3 $M_3^{\text{ин}} = J_{3C}\varepsilon_3$, где осевой момент инерции $J_{3C} = \dfrac{m_3 r^2}{2}$. Направления векторов сил и моментов сил инерции показаны на рис. 6.25.

Для вычисления углового ускорения блока 3 воспользуемся векторным представлением ускорения точки при плоскопараллельном движении тела.

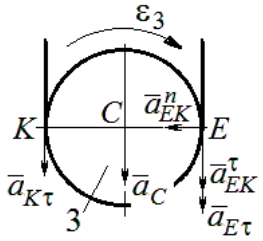


Рис. 6.26. Схема вычисления углового ускорения блока 3

Выберем точку K за полюс. Ускорение точки E определяется равенством $\vec{a}_E = \vec{a}_K + \vec{a}^{\,n}_{EK} + \vec{a}^{\,\tau}_{EK}$, где $\vec{a}_K$ – ускорение полюса K; $\vec{a}^{\,n}_{EK}$, $\vec{a}^{\,\tau}_{EK}$ – нормальная и касательная составляющие ускорения точки E при вращении блока 3 вокруг полюса K (рис. 6.26). Спроектируем векторное равенство на вертикальную ось $E\tau$. Получим: $a_{E\tau} = a_{K\tau} + a^{\tau}_{EK}$, где $a_{E\tau}$ и $a_{K\tau}$ – проекции ускорений точек E и K на вертикальную ось.

Поскольку модуль ускорения точки K нити равен модулю ускорения груза 1, то $a_{K\tau} = a_1$. Модуль ускорения точки E нити равен модулю ускорения груза 2 и $a_{E\tau} = a_2$. Так как $a^{\tau}_{EK} = \varepsilon_3 AK = \varepsilon_3 2r$, то $\varepsilon_3 = \dfrac{a_{E\tau} - a_{K\tau}}{2r} = \dfrac{a_2 - a_1}{2r}$.

Составляя такое же векторное уравнение для определения ускорения центра масс блока 3 (точки C) и проектируя его на вертикальную ось, найдём:

$$a_C = a_{K\tau} + a^{\tau}_{CK} = a_1 + \varepsilon_3 r = \frac{a_2 + a_1}{2}.$$

Выберем в качестве независимых координат s_1, s_2 – положения грузов 1 и 2, отсчитываемые от неподвижных осей вращения блоков B и D. Возможные перемещения грузов обозначим δs_1 и δs_2.

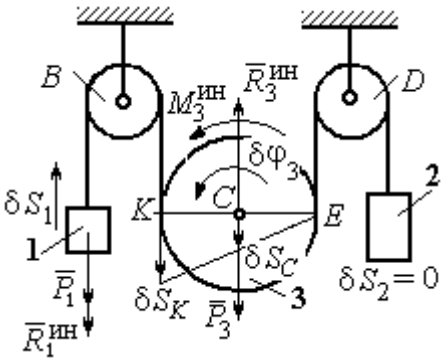


Рис.6.27. Движение системы при перемещении груза 1.

Дадим системе возможное перемещение, при котором груз 1 поднимается вверх на расстояние δs_1, а груз 2 – неподвижен. При таком движении нить, соединяющая груз 2 с блоком 3, неподвижна вплоть до точки E (рис. 6.27).

Вращение блока 3 происходит против направления хода часовой стрелки. Точка E является мгновенным центром скоростей блока 3, и угловая скорость блока $\omega_3 = \frac{V_K}{2r} = \frac{V_1}{2r}$. Скорость центра масс блока $V_C = \frac{1}{2}V_1$. Тогда элементарный поворот блока 3 $\delta\varphi_3 = \frac{\delta s_1}{2r}$ и элементарное перемещения центра масс $\delta s_C = \frac{1}{2}\delta s_1$.

На данном возможном перемещении работу совершают как активные силы – силы тяжести $\vec{P}_1$ и $\vec{P}_3$ груза 1 и блока 3, так и силы инерции – $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_3^{\text{ин}}$ и пара сил инерции с моментом $M_3^{\text{ин}}$.

Составим общее уравнение динамики:

$$\sum \delta A\left(\vec{F}_k^{\text{акт}}\right) + \sum \delta A\left(\vec{R}_k^{\text{ин}}\right) = -P_1\delta s_1 + P_3\delta s_C - R_1^{\text{ин}}\delta s_1 - R_3^{\text{ин}}\delta s_C + M_3^{\text{ин}}\delta\varphi_3 = 0.$$

Здесь работа сил инерции

$$R_1^{\text{ин}}\delta s_1 = m_1 a_1 \delta s_1, \quad R_3^{\text{ин}}\delta s_C = m_3 a_C \delta s_C = \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\delta s_1;$$

$$M_3^{\text{ин}}\delta\varphi_3 = J_{3C}\varepsilon_3\delta\varphi_3 = \frac{P_3 r^2}{2g}\cdot\frac{a_2 - a_1}{2r}\cdot\frac{\delta s_1}{2r}.$$

В результате общее уравнение динамики представляется выражением

$$-P_1\delta s_1 + \frac{1}{2}P_3\delta s_1 - \frac{P_1}{g}a_1\delta s_1 - \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)\cdot\frac{1}{2}\delta s_1 + \frac{P_3 r^2}{2g}\cdot\frac{a_2 - a_1}{2r}\cdot\frac{\delta s_1}{2r} = 0,$$

которое преобразуется к виду:

$$(3P_3 + 8P_1)a_1 + P_3 a_2 = (4P_3 - 8P_1)g.$$

Дадим системе другое независимое возможное перемещение, при котором груз 2 движется вверх ($\delta s_2 \neq 0$), а груз 1 неподвижен ($\delta s_1 = 0$).

При этом перемещении нить, соединяющая груз 1 и блок 3 неподвижна вплоть до точки K (рис. 6.28). Вращение блока 3 происходит по направлению хода часовой стрелки. Точка K является мгновенным центром скоростей блока 3.

Тогда $\omega_3 = \frac{V_E}{2r} = \frac{V_2}{2r}$ и скорость центра масс блока $V_C = \frac{1}{2}V_2$. Элементарный поворот блока 3 $\delta\varphi_3 = \frac{\delta s_2}{2r}$ и перемещение центра масс $\delta s_C = \delta s_E = \frac{1}{2}\delta s_2$.

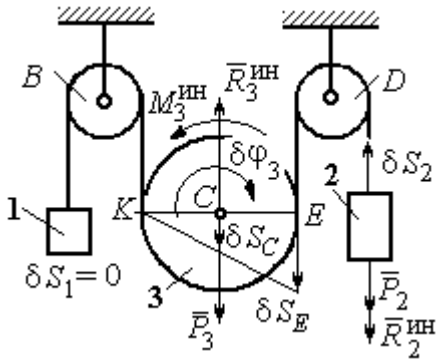


Рис. 6.28. Движение системы при перемещении груза 2

При таком движении работу совершают силы тяжести $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$, силы инерции $\vec{R}_2^{ин}$, $\vec{R}_3^{ин}$ и пара сил с моментом $M_3^{ин}$.

Составим общее уравнение динамики на возможном перемещении δs_2 (см. рис. 6.28):

$$-P_2\delta s_2 - R_2^{ин}\delta s_2 + P_3\delta s_C - R_3^{ин}\delta s_C - M_3^{ин}\delta\varphi_3 = 0,$$

которое преобразуется к виду

$$-P_2\delta s_2 - \frac{P_2}{g}a_2\delta s_2 + \frac{1}{2}P_3\delta s_2 - \frac{P_3}{g}\left(\frac{a_1+a_2}{2}\right)\frac{1}{2}\delta s_2 - \frac{P_3 r^2}{2g}\left(\frac{a_2-a_1}{2r}\right)\frac{\delta s_2}{2r} = 0$$

или к виду

$$(8P_2 + 3P_3)a_2 + P_3 a_1 = (4P_3 - 8P_2)g.$$

Подставляя данные задачи в оба уравнения динамики, соответствующие независимым перемещениям δs_1 и δs_2, получим систему уравнений:

$$7a_1 + a_2 = 0, \quad 2g + 9a_2 + a_1 = 0.$$

Решение системы: $a_1 = \frac{1}{31}g$, $a_2 = -\frac{7}{31}g$ представляет ускорения грузов 1 и 2.

Ускорение центра масс блока 3 находится по формуле $a_C = \frac{a_1 + a_2}{2} = -\frac{3}{31}g$.

Знаки ускорений определяют направления движений тел: груз 1 движется в выбранном направлении – вверх, груз 2 – вниз, центр блока 3 – вверх.

Упражнения

Упражнение 6.4. В механической системе (рис. 6.29) блок 1 радиуса r и каток 2 соединены горизонтальным невесомым стержнем. Скольжение между стержнем и катками отсутствует. Каток 2 состоит из двух шкивов радиусов r и $R = 2r$, скреплённых на одной оси. Каток катится, опираясь малым шкивом на горизонтальную поверхность, без проскальзывания. Груз 3 представляет собой поршень, двигающийся по горизонтальной поверхности без трения и прикреплённый к центру масс катка 2. К блоку 1 приложена пара сил с переменным моментом $M_{\text{вр}} = mgr\sin\omega t$.

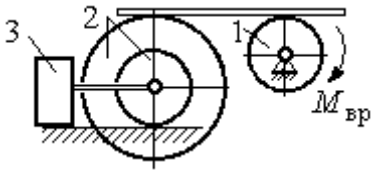


Рис. 6.29. Схема движения механической системы

Найти закон движения поршня 3, если массы грузов $m_1 = m_3 = m$, общая масса катка 2 $m_2 = 2m$, момент инерции катка 2 относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости движения, $i_2 = 1{,}5r$. Движение началось из состояния покоя.

Упражнение 6.5. Груз 1, двигаясь горизонтально, приводит в движение ступенчатый барабан 2 посредством нерастяжимой нити, намотанной на его малую ступень (рис. 6.30). К барабану на нитях, намотанных на большую и малую ступеньки, подвешены два груза 3 и 4. На груз 1 действует сила $F = P(t+1)$. Определить закон движения груза 3, если веса грузов одинаковы и равны P, вес барабана 2 равен $2P$, радиусы ступенек барабана r и $2r$, радиус инерции барабана $i_2 = r\sqrt{2}$, и движение началось из состояния покоя.

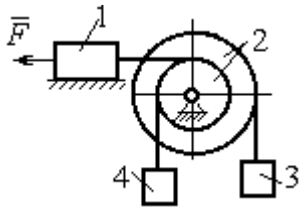


Рис. 6.30. Схема подъёмника

6.4. Уравнения Лагранжа II рода

Обобщенными координатами называется совокупность любых s независимых параметров $q_1, q_2, \ldots, q_s$, однозначно определяющих положение системы в любой момент времени.

Если системе сообщить возможное перемещение, при котором все обобщенные координаты изменятся на элементарные (бесконечно малые) величины $\delta q_1, \delta q_2, \ldots, \delta q_s$, называемые **вариациями обобщенных координат**, то все действующие активные силы совершат элементарную работу, которая может быть представлена в виде: $\delta A = Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \ldots + Q_s \cdot \delta q_s$.

Величина Q_k, $k = 1, 2, \ldots, s$, равная коэффициенту при вариации δq_k обобщенной координаты, называется **обобщенной силой**, соответствующей

данной обобщенной координате. Расчет обобщенных сил осуществляется путем последовательного придания системе возможных перемещений, при которых варьируется только одна из обобщенных координат, а вариации остальных координат равны нулю.

Для материальной системы с идеальными связями дифференциальные уравнения движения в обобщенных координатах – **уравнения Лагранжа II рода** – имеют вид: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k$, $k = 1,2,...,s$, где s – число степеней свободы системы; T – кинетическая энергия системы; $q_1, q_2, ..., q_s$ – обобщенные координаты; $\dot{q}_1, \dot{q}_2, ..., \dot{q}_s$ – обобщенные скорости.

Примеры решения задач на составление уравнений Лагранжа

Задача 71. В механизме домкрата (рис. 6.31) движение зубчатого колеса 1 передаётся шестерне 2, к которой соосно прикреплено зубчатое колесо 3, имеющее зацепление с зубчатой рейкой 4, на которой поднимается груз 5 массы m_5 = 50 кг.

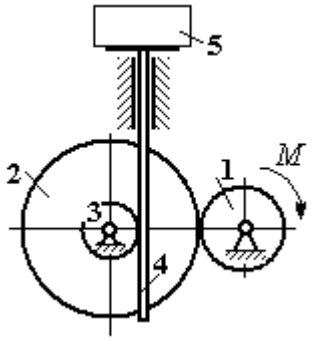


Рис. 6.31. Схема механизма домкрата

Радиусы зубчатых колёс r_1 = 5 см, r_2 = 12 см, r_3 = 6 см. Зубчатые колёса считать сплошными однородными дисками. Массы колёс m_1 = 0,8 кг, m_2 = 1,6 кг, m_3 = 0,6 кг, масса зубчатой рейки m_4 = 1 кг.

Какой величины постоянный вращающий момент нужно приложить к колесу 1 для того, чтобы в момент времени t = 2 с груз 5 имел скорость V_5 = 1 м/с, если движение системы начинается из состояния покоя.

Решение

Домкрат является механической системой с одной степенью свободы. Выберем в качестве обобщённой координаты координату x, отмечающую положение груза 5 (рис. 6.32).

Уравнение Лагранжа для обобщённой координаты x имеет вид: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right)-\frac{\partial T}{\partial x}=Q_x$, где T – кинетическая энергия системы; $\dot{x}$ – обобщённая скорость; Q_x – обобщённая сила.

Кинетическая энергия колеса 1: $T_1=\frac{J_1\omega_1^2}{2}$, где ω_1 – угловая скорость колеса 1; J_1 – момент инерции колеса, $J_1=\frac{m_1r_1^2}{2}$.

Кинетические энергии шестерни 2 и зубчатого колеса 3, у которых угловые скорости одинаковы, соответственно: $T_2=\frac{J_2\omega_2^2}{2}$, $T_3=\frac{J_3\omega_2^2}{2}$, где ω_2 – угловая скорость шестерни 2; J_2, J_3 – моменты инерции шестерни 2 и зубчатого колеса 3 относительно оси, проходящей через общий центр масс, $J_2=\frac{m_2r_2^2}{2}$, $J_3=\frac{m_3r_3^2}{2}$. Скорость груза 5 равна скорости зубчатой линейки $V_5=V_4$. Кинетическая энергия зубчатой линейки 4 и груза 5: $T_4=\frac{m_4V_4^2}{2}$, $T_5=\frac{m_5V_4^2}{2}$.

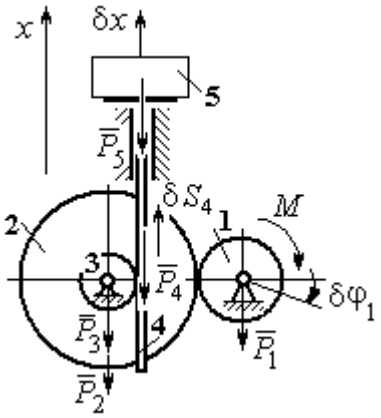


Рис. 6.32. Возможные перемещения звеньев механизма

Выразим угловые скорости колёс через скорость груза (зубчатой линейки).

Имеем: $\omega_2=\omega_3=\frac{V_4}{r_3}$ (см. рис. 6.32). Кроме того, из равенства $\omega_2r_2=\omega_1r_1$ следует $\omega_1=\frac{\omega_2r_2}{r_1}=\frac{V_4r_2}{r_1r_3}$.

Подставляя полученные соотношения в выражения кинетических энергий тел и с учётом данных задачи, получим кинетическую энергию системы:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 =$$

$$= \frac{m_1 r_1^2}{4}\left(\frac{V_4 r_2}{r_1 r_3}\right)^2 + \frac{m_2 r_2^2}{4}\left(\frac{V_4}{r_3}\right)^2 + \frac{m_3 r_3^2}{4}\left(\frac{V_4}{r_3}\right)^2 + \frac{m_4 V_4^2}{2} + \frac{m_5 V_4^2}{2} =$$

$$= \left[\frac{m_1 + m_2}{2}\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 + \frac{m_3}{2} + m_4 + m_5\right]\frac{V_4^2}{2} = 28{,}05 V_4^2 = 28{,}05\,\dot{x}^2.$$

Вычислим обобщённую силу.

Дадим возможное перемещение δx грузу 5. При этом линейка 4 переместится на расстояние δs_4, а зубчатое колесо 1 повернётся на угол $\delta\varphi_1$. Найдём сумму работ всех сил, приложенных к системе, на этом возможном перемещении. Получим: $\delta A = -P_5\delta x - P_4\delta s_4 + M\delta\varphi_1$. Работа сил тяжести зубчатых колёс $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ и $\vec{P}_3$ равна нулю, так как точки приложения этих сил неподвижны.

Из ранее полученных скоростных соотношений следуют равенства перемещений: $\delta s_4 = \delta x$, $\delta\varphi_1 = \frac{r_2}{r_1 r_3}\delta x$. В результате сумма работ сил на возможном перемещении системы выражается в виде $\delta A = \left(-m_5 g - m_4 g + M\frac{r_2}{r_1 r_3}\right)\delta x$. Отсюда обобщённая сила Q_x, соответствующая координате *x*: $Q_x = -(m_5 + m_4)g + M\frac{r_2}{r_1 r_3} = -500{,}31 + 40M$.

Составим уравнение Лагранжа.

С учётом, что $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = 56{,}1\,\ddot{x}$ и $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$, дифференциальное уравнение движения имеет вид: $56{,}1\,\ddot{x} = -500{,}31 + 40M$ или $\ddot{x} = -8{,}92 + 0{,}71M$.

Интегрируя это уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон изменения скорости груза 5: $V_5 = \dot{x} = (-8{,}92+0{,}71M)t$.

По условию задачи при $t = 2$ с $V_5 = 1$ м/с. Подставляя эти данные в уравнение, получим: $M = 13{,}27$ Н·м.

Задача 72. Механическая система состоит из ступенчатого блока 2, катка 3, соединённых невесомым брусом 1, и невесомой пружины жесткостью c. Радиусы ступеней блока r и $R = 1{,}5r$, радиус катка 3 равен r. Брус, лежащий на катке 3 и блоке 2, во время движения остаётся параллельным линии качения катка 3 (рис. 6.33). В центре катка 3 приложена сила $\vec{F}$, направленная вверх параллельно наклонной плоскости, а к блоку 2 – пара сил с моментом M. Качение катка по неподвижной поверхности без скольжения. Проскальзывание между брусом 1 и дисками отсутствует. Передача движения пружины блоку 2 производится посредством невесомого жесткого вертикального стержня, прижатого к малой ступеньке блока без скольжения. Радиус инерции блока 2 относительно оси вращения $i_z = r\sqrt{2}$. Веса тел: $P_3 = P$, $P_2 = 2P$, приложенная сила $F = 2P$, момент $M = Pr$, жесткость пружины $c = P/r$.

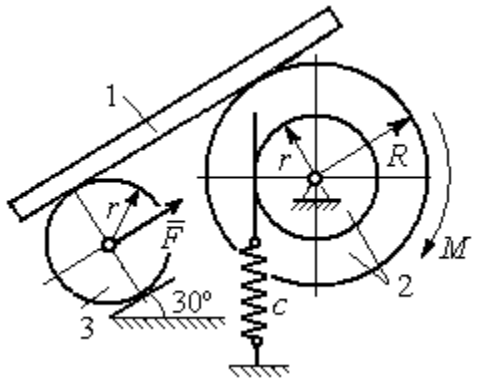


Рис. 6.33. Механическая система с одной степенью свободы

Определить закон угловых колебаний блока 2 при $P = 10$ Н, $r = 0{,}2$ м, если в начальный момент пружина находилась в нерастянутом состоянии, а блоку 2 придали угловую скорость $\omega_0 = 0{,}5$ рад/с в сторону вращения, создаваемого заданным моментом.

Решение

Рассматриваемая механическая система (рис. 6.34) имеет одну степень свободы. В качестве обобщённой координаты q выберем перемещение x

верхнего края пружины, отсчитываемого от уровня недеформируемой пружины (см. рис. 6.34). Обобщённая скорость $\dot{q} = \dot{x}$.

Уравнение Лагранжа II рода, описывающее движение системы, имеет вид $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x$, где T – кинетическая энергия системы; Q_x – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате *x*.

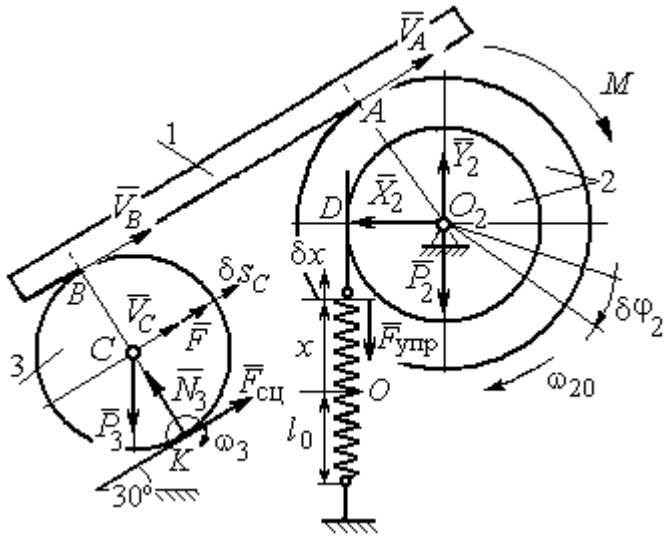


Рис. 6.34 Расчётная схема колебаний механической системы с одной степенью свободы

Вычислим кинетическую энергию системы. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2$, где ω_2 – угловая скорость блока; J_{2z} – момент инерции блока 2 относительно оси *z*, $J_{2z} = m_2 i_z^2$. Каток 3 совершает плоскопараллельное движение. Его кинетическая энергия $T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2$, где V_C, ω_3 – скорость центра масс катка 3 и его угловая скорость; J_{zC} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости движения, $J_{zC} = \frac{1}{2} m_3 r^2$; r – радиус катка.

Выразим угловые скорости ω_2, ω_3, а также скорость V_C через обобщённую скорость $\dot{x}$.

Заметим, что скорость точки *D* блока 2 равна скорости движения верхнего края пружины: $V_D = \dot{x}$ (см. рис. 6.34). Угловая скорость блока 2: $\omega_2 = \dfrac{V_D}{r} = \dfrac{\dot{x}}{r}$.

Скорость точки *A* блока 2: $V_A = \omega_2 R = \dfrac{\dot{x}R}{r}$.

Так как брус совершает поступательное движение, то скорости точек *A* и *B* равны: $V_B = V_A$. Угловая скорость катка 3 (точка *K* касания катка 3 с неподвижной поверхностью является его мгновенным центром скоростей): $\omega_3 = \dfrac{V_B}{2r} = \dfrac{V_A}{2r} = \dfrac{\dot{x}R}{2r^2}$. Скорость центра катка 3: $V_C = \dfrac{V_B}{2} = \dfrac{\dot{x}R}{2r}$.

Подставляя найденные кинематические соотношения с учётом исходных данных задачи, получим кинетическую энергию тел системы:

$$T_2 = \frac{1}{2} J_{2z} \omega_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2P}{g} \left(r\sqrt{2}\right)^2 \left(\frac{\dot{x}}{r}\right)^2 = \frac{2P}{g} \dot{x}^2;$$

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_{zC} \omega_3^2 = \frac{1}{2} \frac{P}{g} \left(\frac{\dot{x}R}{2r}\right)^2 + \frac{1}{2} \frac{Pr^2}{2g} \left(\frac{\dot{x}R}{2r^2}\right)^2 = \frac{3P}{4g} \left(\frac{R}{2r}\right)^2 \dot{x}^2.$$

Полная кинетическая энергия системы:

$$T = T_2 + T_3 = \frac{P}{g} \left(2 + \frac{3}{4} \left(\frac{R}{2r}\right)^2\right) \dot{x}^2.$$

Найдём обобщённую силу. Произвольное положение системы определяется обобщённой координатой *x*, показывающей растяжение пружины. Дадим пружине в произвольном положении возможное (бесконечно малое) перемещение δx в положительном направлении оси *x* (см. рис. 6.34). При этом блок 2 повернётся на угол $\delta\varphi_2 = \dfrac{\delta x}{r}$, центр масс катка 3 сдвинется на расстояние $\delta s_C = \dfrac{R}{2r} \delta x$. На заданном перемещении системы работу совершают сила тяжести катка 3, пара сил с моментом *M*, сила $\vec{F}$ и сила упругости пружины.

Элементарная работа вращающего момента M: $\delta A(M) = M\delta\varphi_2 = M\dfrac{\delta x}{r}$.

Работа силы тяжести катка 3: $\delta A(\vec{P}_3) = P_3\delta s_C\cos 120^\circ = -P_3\dfrac{R}{4r}\delta x$.

Работа силы F: $\delta A(\vec{F}) = F\delta s_C = F\dfrac{R}{2r}\delta x$.

Модуль силы упругости пружины, растянутой из недеформированного положения на расстояние x: $F_{\text{упр}} = cx$. Сила упругости направлена в сторону, противоположную растяжению (см. рис. 6.34). Её работа при перемещении δx вычисляется по формуле $\delta A(\vec{F}_{\text{упр}}) = F_{\text{упр}}\delta x\cos 180^\circ = -cx\delta x$.

Сумма работ сил на рассматриваемом возможном перемещении системы с учётом данных задачи:

$$\delta A = M\frac{\delta x}{r} - P_3\frac{R}{4r}\delta x + F\frac{R}{2r}\delta x - cx\delta x = P\left(\frac{17}{8} - \frac{x}{r}\right)\delta x,$$

откуда обобщённая сила $Q_x = P\left(\dfrac{17}{8} - \dfrac{x}{r}\right)$.

Вычислим необходимые производные кинетической энергии: $\dfrac{d}{dt}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) = \dfrac{2P}{g}\left(2 + \dfrac{3}{4}\left(\dfrac{R}{2r}\right)^2\right)\ddot{x}$, $\dfrac{\partial T}{\partial x} = 0$ и, подставляя их в общий вид уравнений Лагранжа, получим дифференциальное уравнение колебаний верхнего края пружины:

$$\frac{2P}{g}\left(2 + \frac{3}{4}\left(\frac{R}{2r}\right)^2\right)\ddot{x} = P\left(\frac{17}{8} - \frac{x}{r}\right), \text{ или } \ddot{x} + 10{,}2x = 4{,}34 \text{ (здесь } g = 9{,}81 \text{ м/с}^2\text{).}$$

Решение дифференциального уравнения представляется в виде суммы: $x = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$. Общее решение однородного уравнения имеет вид $x_{\text{одн}} = C_1\sin kt + C_2\cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний пружины, $k = \sqrt{10{,}2}$ = 3,19 рад/с. Частное решение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{част}} = b$. Подставив

его в уравнение колебаний, получим: $b = 0{,}42$. Таким образом, общее решение неоднородного уравнения имеет вид $x(t) = C_1 \sin 3{,}19t + C_2 \cos 3{,}19t + 0{,}42$.

Произвольные постоянные C_1, C_2 находятся из начальных условий. По условию задачи в начальный момент пружина была в нерастянутом состоянии. Тогда начальная координата пружины (её верхнего края) $x(0) = 0$. Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим $C_2 = -0{,}42$. Скорость верхнего края пружины в начальный момент времени $\dot{x}(0)$ равна начальной скорости $V_D(0)$ точки D блока 2. Поскольку в начальный момент времени блоку 2 сообщили угловую скорость $\omega_{20} = 0{,}5$ рад/с, то при $r = 0{,}2$ м $\dot{x}(0) = V_D(0) = \omega_{20} r = 0{,}1$ м/с.

Вычисляем скорость движения края пружины, взяв производную: $\dot{x}(t) = 3{,}19 C_1 \cos 3{,}19t - 3{,}19 C_2 \sin 3{,}19t$. Подставляя начальное значение скорости, получим $C_1 = 0{,}03$.

Окончательно уравнение движения верхнего края пружин: $x(t) = 0{,}03 \sin 3{,}19t - 0{,}42 \cos 3{,}19t + 0{,}42$ м. Уравнение колебательного движения блока 2: $\varphi_2 = \dfrac{x}{r} = 0{,}15 \sin 3{,}19t - 2{,}1 \cos 3{,}19t + 2{,}1$ рад.

Задача 73. Прямоугольная призма 3 весом $2P$ лежит на катке 1 радиуса r и веса P и опирается на невесомый блок 2 (рис. 6.35). Каток 1 катится по неподвижной горизонтальной поверхности без скольжения. По наклонной поверхности призмы скатывается без скольжения каток 4 весом P и радиуса r. Угол наклона поверхности призмы к горизонту составляет 30º. На каток 1 действует пара сил с постоянным моментом $M = 3Pr$, а на призму 3 – горизонтальная сила $\vec{F}$ с модулем $F = P$. Катки считать однородными

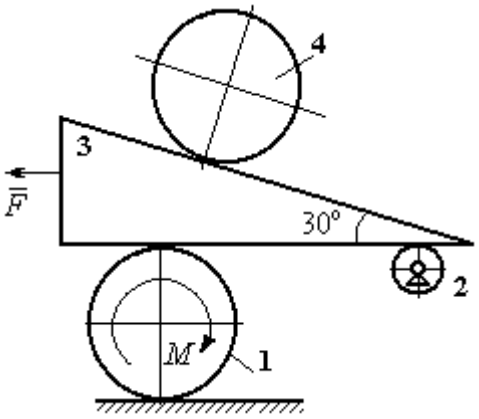


Рис. 6.35. Механическая система с двумя степенями свободы

дисками. Проскальзывание между катками 1, 4 и призмой отсутствует. В начальный момент система находилась в покое.

Определить закон движения призмы 3 и закон движения катка 4 относительно призмы.

Решение

Рассматриваемая механическая система – катки и призма имеет две степени свободы, так как перемещение катка 4 относительно призмы 3 не зависит от перемещения самой призмы и катка 1. За обобщенные координаты выберем перемещение x_4 центра масс катка 4 относительно края призмы и перемещение x_3 края призмы 3 относительно произвольной неподвижной вертикальной плоскости (рис. 6.36). Обобщенные скорости: $\dot{x}_4$, $\dot{x}_3$.

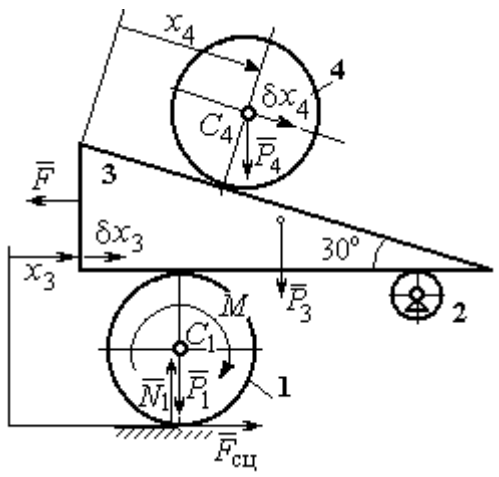


Рис. 6.36. Возможные перемещения механической системы

Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы в обобщённых координатах:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_4}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_4} = Q_{x_4};$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_3} = Q_{x_3},$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_{x_4}, Q_{x_3} – обобщенные силы, соответствующие указанным обобщенным координатам.

Вычислим кинетическую энергию тел в системе.

Каток 1 совершает плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия катка $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_{C_1}^2 + \frac{1}{2} J_{C_1} \omega_1^2$, где V_{C_1} – скорость центра масс катка, $V_{C_1} = \frac{1}{2}\dot{x}_3$; J_{C_1} – момент инерции катка относительно оси, проходящей через центр масс

перпендикулярно плоскости движения, $J_{C_1} = \frac{m_1 r^2}{2}$; ω_1 – угловая скорость катка 1, $\omega_1 = \frac{\dot{x}_3}{2r}$.

Призма 3 совершает поступательное движение со скоростью $V_3 = \dot{x}_3$. Её кинетическая энергия $T_3 = \frac{m_3 V_3^2}{2} = \frac{m_3 \dot{x}_3^2}{2}$.

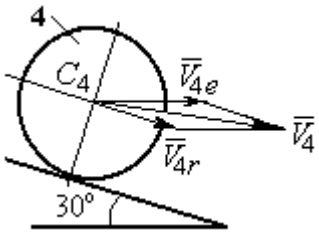


Рис. 6.37. Скорость центра масс катка 4

При расчёте кинетической энергии катка 4 по формуле $T_4 = \frac{1}{2} m_4 V_4^2 + \frac{1}{2} J_{C_4} \omega_4^2$ необходимо учитывать, что каток 4 совершает сложное движение. Здесь относительное движение катка – его качение по наклонной поверхности призмы, переносное – поступательное перемещение вместе с призмой.

Вектор абсолютной скорости центра масс катка 4 $\vec{V}_4$ представляется в виде суммы $\vec{V}_4 = \vec{V}_{4e} + \vec{V}_{4r}$ (рис. 6.37), где $\vec{V}_{4e}$ – вектор переносной скорости катка, равный по модулю скорости призмы: $V_{4e} = \dot{x}_3$; $\vec{V}_{4r}$ – вектор относительной скорости центра масс катка, равный по величине $V_{4r} = \dot{x}_4$. Модуль абсолютной скорости центра масс катка 4 (по теореме косинусов):

$$V_4^2 = V_{4e}^2 + V_{4r}^2 - 2V_{4e}V_{4r}\cos 150^\circ = \dot{x}_3^2 + \dot{x}_4^2 + 2\dot{x}_3\dot{x}_4\cos 30^\circ .$$

Поскольку переносное движение катка 4 поступательное, угловая скорость катка ω_4 равна его угловой скорости в относительном движении $\omega_4 = \frac{V_{4r}}{r} = \frac{\dot{x}_4}{r}$.

В результате выражение кинетической энергии системы, в обобщённых скоростях имеет вид:

$$T = \frac{1}{2} m_1 V_{C_1}^2 + \frac{1}{2} J_{C_1} \omega_1^2 + \frac{1}{2} m_3 V_3^2 + \frac{1}{2} m_4 V_4^2 + \frac{1}{2} J_{C_4} \omega_4^2 =$$

$$= \frac{P}{2g}\left(\frac{27}{8}\dot{x}_3^2 + \frac{3}{2}\dot{x}_4^2 + \dot{x}_3\dot{x}_4\sqrt{3}\right).$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_3, оставляя координату x_4 без изменения: $\delta x_3 > 0, \delta x_4 = 0$. При таком движении системы каток 4 не скатывается по призме, а движется поступательно вместе с ней. В этом случае работа сил тяжести катков 1, 4 и призмы равна нулю, так как нет вертикального перемещения точек приложения этих сил. Работу на этом перемещении будет производить только сила $\vec{F}$ и пара сил с моментом M, приложенная к катку 1. Суммарная элементарная работа

$$\delta A = -F\delta x_3 + M\delta\varphi_1 = \left(-F + \frac{M}{2r}\right)\delta x_3 .$$

Здесь учтено, что элементарный угол поворота катка 1 связан с перемещением призмы соотношением: $\delta\varphi_1 = \frac{\delta x_3}{2r}$. Отсюда обобщённая сила, соответствующая координате x_3: $Q_{x_3} = -F + \frac{M}{2r} = \frac{1}{2}P$.

Дадим системе другое независимое перемещение – по координате x_4, оставляя координату x_3 без изменения: $\delta x_4 > 0, \delta x_3 = 0$. При этом возможном перемещении вся система стоит, кроме катка 4, который скатывается по наклонной поверхности призмы. При таком движении системы работу совершает только сила тяжести катка 4. Выражая элементарную работу $\delta A = P_4\delta x_4 \cos 60^\circ = \frac{1}{2}P\delta x_4$, найдём обобщённую силу, соответствующую координате x_4: $Q_{x_4} = \frac{1}{2}P$.

Составим уравнения Лагранжа. С этой целью вычислим необходимые производные кинетической энергии

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_3}\right) = \frac{27P}{8g}\ddot{x}_3 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_4;\ \ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_4}\right) = \frac{3P}{2g}\ddot{x}_4 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_3;\ \ \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0,\ \frac{\partial T}{\partial x_4} = 0.$$

Подставляя результаты расчётов в общий вид уравнений Лагранжа, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{27P}{8g}\ddot{x}_3 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_4 = \frac{1}{2}P, \quad \frac{3P}{2g}\ddot{x}_4 + \frac{P\sqrt{3}}{2g}\ddot{x}_3 = \frac{1}{2}P$$

или

$$6{,}75\ddot{x}_3 + 1{,}73\ddot{x}_4 = g\,; \;\; 3\ddot{x}_4 + 1{,}73\ddot{x}_3 = g\,.$$

Решаем данную систему как алгебраическую относительно ускорений $\ddot{x}_3$, $\ddot{x}_4$. Получим: $\ddot{x}_3 = 0{,}07g$, $\ddot{x}_4 = 0{,}29g$.

Интегрируя дважды эти уравнения с нулевыми начальными условиями, получим закон движения призмы ($x_3 = 0{,}035gt^2$) и центра масс катка 4 относительно призмы ($x_4 = 0{,}145gt^2$). Движение призмы и катка 4 относительно призмы происходит в положительном направлении осей.

Задача 74. Механическая система состоит из трёх тел – груза 1, катка 2 и блока 3 (рис. 6.38). Невесомый стержень, соединяющий каток 2 с блоком 3, параллелен горизонтальной плоскости качения катка 2. К центру катка 2 прикреплена горизонтальная пружина, другой конец которой соединён с грузом 1. Коэффициент жесткости пружины *c*. Груз 1 весом P_1 движется без трения по горизонтальной поверхности. Каток 2 весом P_2 катится по горизонтальной поверхности без скольжения. Радиус катка 2 равен *r*. Блок 3 считать однородным диском весом P_3 радиуса *R*. К блоку 3 приложена пара сил с моментом *M*. Движение катка 2 блоку 3 передаётся горизонтальным невесомым стержнем. Скольжение между стержнем и дисками отсутствует. В начальный момент система находилась в покое. При этом груз 1 находился в положении, при котором пружина была растянута относительно своего недеформированного состояния на величину Δl_0.

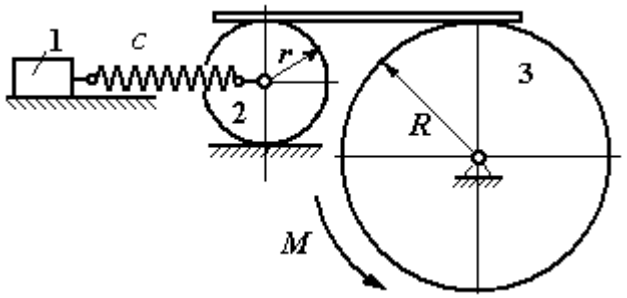


Рис. 6.38. Колебания механической системы с двумя степенями свободы

Найти закон абсолютного движения груза 1, если известно P_1 = 10 Н, P_2 = 20 Н, P_3 = 30 Н, M = 5 Н·м, R = 24 см, c = 207 Н/м, Δl_0 = 5 см.

Решение

Рассматриваемая механическая система имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат выберем удлинение пружины x_1 относительно недеформированного состояния и угол φ_3 поворота блока 3 (рис. 6.39). При этом x_1 является относительной координатой движения груза, а φ_3 – абсолютной координатой вращения блока 3.

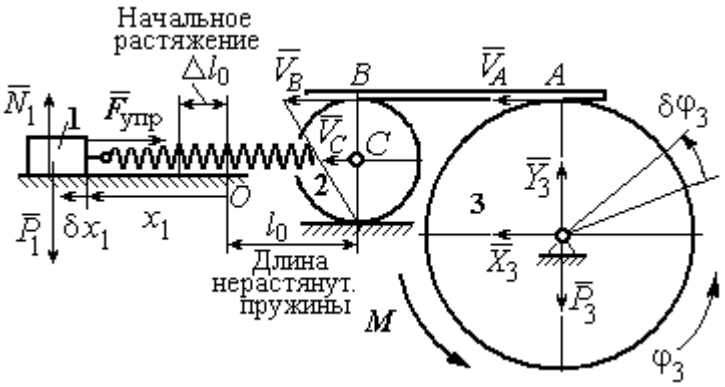


Рис. 6.39. Расчётная схема колебаний механической системы

Рассмотрим сложное движение груза 1. Относительное движение груза – это его движение на пружине в предположении, что точка крепления пружины неподвижна. Относительная скорость $V_{1r} = \dot{x}_1$. Переносное движение – это перемещение груза вместе с фиксированной длиной пружины (иначе, заменяя пружину жестким стержнем). Переносная скорость груза 1 $V_{1e} = V_C$, где V_C – скорость центра масс катка 2.

На рис. 6.39 показано распределение скоростей точек катка 2, откуда следует: $V_C = \frac{1}{2} V_B$. Имеем: $V_B = V_A = \omega_3 R = \dot{\varphi}_3 R$ и $V_C = \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$.

Для того чтобы найти модуль абсолютной скорости груза 1, спроектируем векторное равенство теоремы сложения скоростей $\vec{V}_1 = \vec{V}_{1r} + \vec{V}_{1e}$ на горизонтальную ось. Полагая, что движение системы происходит в

положительном направлении отсчета обобщённых координат, получим: $V_1 = \dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$.

Уравнения Лагранжа II рода, описывающие движение системы:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) - \frac{\partial T}{\partial x_1} = Q_x, \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = Q_\varphi,$$

где T – кинетическая энергия системы; Q_x, Q_φ – обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам x_1 и φ_3.

Вычислим кинетическую энергию системы и выразим её через обобщённые скорости.

Кинетическая энергия поступательного движения груза 1 определяется выражением $T_1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2$, где V_1 следует рассматривать как абсолютную скорость груза. Тогда $T_1 = \frac{1}{2} m_1 \left(\dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R \right)^2$. Каток 2 совершает плоскопараллельное движение. Кинетическая энергия катка $T_2 = \frac{3}{4} m_2 V_C^2$, причём $V_C = \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R$. Тогда $T_2 = \frac{3}{16} m_2 \dot{\varphi}_3^2 R^2$. Кинетическая энергия вращающегося блока 3: $T_3 = \frac{1}{2} J_{3z} \omega_3^2$, где J_{3z} – осевой момент инерции блока 3, $J_{3z} = \frac{m_3 R^2}{2}$. Окончательно $T_3 = \frac{1}{4} m_3 \dot{\varphi}_3^2 R^2$.

Кинетическая энергия системы имеет вид:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1 + \frac{1}{2}\dot{\varphi}_3 R)^2 + \frac{3}{16} m_2 \dot{\varphi}_3^2 R^2 + \frac{m_3 R^2}{4} \dot{\varphi}_3^2 =$$

$$= \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1 \dot{\varphi}_3 R + \left(\frac{1}{8} m_1 + \frac{3}{16} m_2 + \frac{1}{4} m_3 \right) \dot{\varphi}_3^2 R^2.$$

Дадим системе возможное перемещение, при котором изменяется координата груза x_1 ($\delta x_1 > 0$), а другая координата – угол поворота блока 3 φ_3 остаётся постоянной ($\delta\varphi_3 = 0$). В этом случае груз 1 движется горизонтально, блок 3 и каток 2 – неподвижны. При таком движении работу будет производить только упругая сила пружины.

Модуль силы упругости пружины пропорционален её растяжению и в произвольном положении груза равен: $F_{\text{упр}} = c\Delta\ell = cx_1$. Направление силы упругости противоположно растяжению (см. рис. 6.39).

Сумма элементарных работ сил на заданном перемещении системы δx_1: $\delta A = -F_{\text{упр}}\delta x_1 = -cx_1\delta x_1$. Отсюда обобщенная сила Q_x, соответствующая координате x_1: $Q_x = -cx_1 = -207x_1$ Н.

Дадим системе другое возможное перемещение, при котором пружина не растягивается: $\delta x_1 = 0$, а блок 3 повернулся на угол $\delta\varphi_3$: $\delta\varphi_3 > 0$. В этом случае пружина рассматривается как жёсткий стержень, связывающий груз 1 с центром масс катка 2. В результате при повороте блока 3 груз 1 и точка *C* движутся одинаково в горизонтальном направлении. На этом перемещении системы работу совершает только пара сил с моментом *M*, приложенная к блоку 3. Имеем $\delta A = M\delta\varphi_3$, и, следовательно, обобщённая сила $Q_\varphi = M = 5$ Н·м.

Составим уравнения Лагранжа, для чего вычислим производные от кинетической энергии по обобщенным скоростям и координатам:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} = m_1\dot{x}_1 + \frac{1}{2}m_1R\dot{\varphi}_3;\ \ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} = \frac{1}{2}m_1R\dot{x}_1 + \left(\frac{1}{4}m_1 + \frac{3}{8}m_2 + \frac{1}{2}m_3\right)\dot{\varphi}_3R^2;$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0,\ \ \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = 0.$$

Полные производные по времени:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1}\right) = m_1\ddot{x}_1 + \frac{1}{2}m_1R\ddot{\varphi}_3;\ \ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3}\right) = \frac{1}{2}m_1R\ddot{x}_1 + \left(\frac{1}{4}m_1 + \frac{3}{8}m_2 + \frac{1}{2}m_3\right)\ddot{\varphi}_3R^2.$$

Приравнивая полные производные обобщённым силам, получим уравнения Лагранжа окончательно в виде системы алгебраических уравнений относительно ускорений $\ddot{x}_1$ и $\ddot{\varphi}_3$:

$$1{,}02\ddot{x}_1 + 0{,}12\ddot{\varphi}_3 = -207x_1;\ \ 0{,}12\ddot{x}_1 + 0{,}15\ddot{\varphi}_3 = 5.$$

Разрешая систему относительно ускорения $\ddot{x}_1$, получим уравнение относительных колебаний груза:

$$\ddot{x}_1 + 225x_1 = -4{,}35.$$

Решение линейного неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами представляется в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного: $x_1 = x_{\text{одн}} + x_{\text{частн}}$.

Общее решение однородного уравнения $x_{\text{одн}} = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt$, где C_1, C_2 – произвольные постоянные; k – круговая частота собственных колебаний груза 1, $k = \sqrt{225} = 15$ рад/с. Частное решение неоднородного уравнения ищется в виде константы $x_{\text{част}} = b$. Подставив его в уравнение колебаний, получим: b = – 0,02.

Таким образом, общее решение неоднородного уравнения

$$x_1(t) = C_1 \sin 15t + C_2 \cos 15t - 0{,}02.$$

Начальная координата x_{01} груза 1 определяется из условия, что в начальный момент времени при $t = 0$ груз находился в положении, при котором пружина была растянута относительно своего недеформированного состояния на расстояние Δl_0 = 0,05 м. Следовательно, $x_{01} = 0{,}05$. Подставляя значение начальной координаты в общее решение неоднородного уравнения при $t = 0$, получим: $C_2 = 0{,}07$.

Относительная скорость груза 1 в любой момент времени: $\dot{x}_1(t) = C_1 15\cos 15t - C_2 15\sin 15t$. По условию задачи начальная скорость груза 1 $\dot{x}_1(0) = 0$. После подстановки начального условия в выражение для скорости груза 1 получим: $C_1 = 0$.

Окончательно уравнение относительного движения груза 1:

$$x_1(t) = 0{,}07\cos 15t - 0{,}02 \text{ м}.$$

Найдём уравнение вращательного движения блока 3. Для этого в дифференциальное уравнение $0{,}12\ddot{x}_1 + 0{,}15\ddot{\varphi}_3 = 5$ подставим значение второй производной решения относительных колебаний груза 1. Получим: $\ddot{\varphi}_3 = 33{,}33 + 12{,}6\cos 15t$. Полагая $\ddot{\varphi}_3 = \dfrac{d\omega_3}{dt}$, получим дифференциальное уравнение первого порядка: $\dfrac{d\omega_3}{dt} = 33{,}33 + 12{,}6\cos 15t$, откуда найдём угловую скорость блока 3: $\omega_3 = 33{,}33t + 0{,}84\sin 15t + C_3$.

Аналогично, положив $\omega_3 = \dfrac{d\varphi_3}{dt}$, найдём закон вращательного движения блока 3: $\varphi_3 = 16{,}665t^2 - 0{,}056\cos 15t + C_3 t + C_4$.

Начальные условия движения блока: при $t = 0$, $\varphi_3(0) = 0$, $\omega_3(0) = 0$. Подставляя начальные условия в уравнения движения, получим: $C_4 = 0{,}056$, $C_3 = =0$.

Окончательно уравнение вращательного движения блока 3:

$$\varphi_3 = 16{,}665t^2 - 0{,}056\cos 15t + 0{,}056.$$

Абсолютное движение s_1 груза 1 представляется суммой относительного и переносного движений:

$$s_1 = x_1 + S_C = x_1 + \frac{1}{2}R\varphi_3 = 2t^2 - 0{,}06\cos 15t - 0{,}01.$$

Упражнения

Упражнение 6.6. Каток весом $P_1 = 2P$, радиуса r, движущийся без проскальзывания по вертикальной стене, удерживается вертикальной пружиной жесткостью $C = 4P/r$, прикреплённой одним концом к центру катка, другим – к неподвижной поверхности (рис. 6.40). К нити, намотанной на барабан катка, подвешен груз 2 весом $P_2 = P$. На груз действует сила $F = P$, к катку приложена пара сил с моментом $M = Pr$.

Найти закон движения груза 2 и максимальное растяжение пружины, если движение системы началось из состояния покоя при недеформированной пружине.

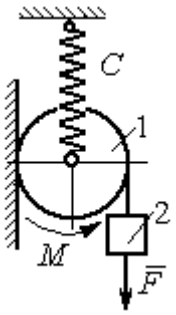


Рис. 6.40. Схема движения катка

Упражнение 6.7. Грузы 1 и 2 весом $P_1 = 20$ Н и $P_2 = 30$ Н привязаны к нерастяжимой нити. Нить переброшена через неподвижные блоки B и D и охватывает снизу подвижный блок 3 весом $P_3 = 40$ Н (рис. 6.41).

Определить ускорения грузов 1 и 2 и центра масс блока 3. Весом нити и неподвижных блоков B и D пренебречь.

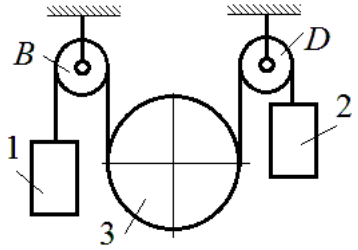


Рис. 6.41. Механическая система с двумя степенями свободы

Упражнение 6.8. Каток 1, радиуса r весом P катится по горизонтальной поверхности. К катку приложена пара сил с моментом $M = 2Pr$. Каток передаёт движение невесомой тележке (см. рис. 6.42). В кузове тележки находится каток 2 такого же радиуса r и веса P, который движется по горизонтальной поверхности кузова под действием силы $F = P$, приложенной в центре катка. Найти закон движения центра катка 2 относительно тележки, если движение системы началось из состояния покоя.

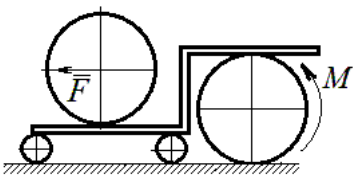


Рис. 6 42. Движение катка в кузове тележки

7. ОТВЕТЫ И КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

7.1. Ответы к упражнениям главы 1

1.1

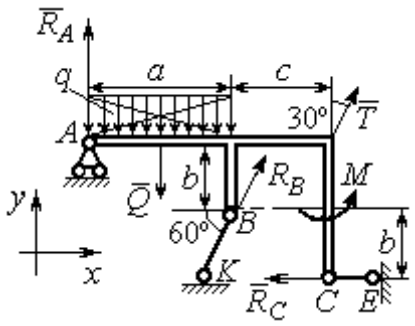


Рис. 7.1. Расчётная схема к упражнению 1.1

$T = 15$ кН, $Q = 15$ кН.

$$R_B\cos 60^\circ + T\cos 60^\circ - R_C = 0;$$

$$R_A - Q + R_B\cos 30^\circ + T\cos 30^\circ = 0;$$

$$-Q\cdot\frac{a}{2} + R_B\cos 30^\circ\cdot a + R_B\cos 60^\circ\cdot b + T\cos 30^\circ\cdot(a+c) + + M - R_C\cdot 2b = 0.$$

$R_B = -3{,}8$ кН, $R_C = 5{,}6$ кН, $R_A = 5{,}3$ кН.

1.2

$Q = 9$ кН. $T = 2$ кН.

$$X_A + T\cos 30^\circ + Q\cos 30^\circ = 0;$$

$$Y_A - Q\cos 60^\circ + R_B - T\cos 60^\circ - F = 0;$$

$$-Q\cdot\frac{c}{2} + R_B(b + c\cos 60^\circ) - Fc\cos 60^\circ + M -$$

$$-T\cos 60^\circ(b + c\cos 60^\circ) - T\cos 30^\circ(a + c\sin 60^\circ) = 0.$$

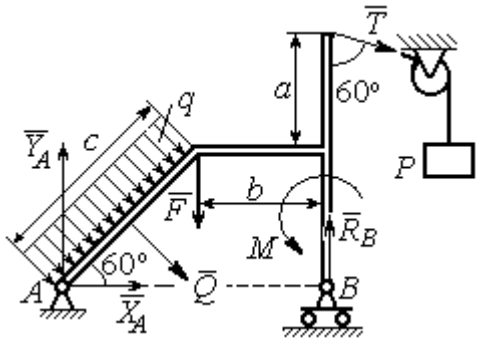


Рис. 7.2. Расчётная схема к упражнению 1.2

$R_B = 10{,}02$ кН, $X_A = -9{,}53$ кН, $Y_A = -0{,}52$ кН.

1.3

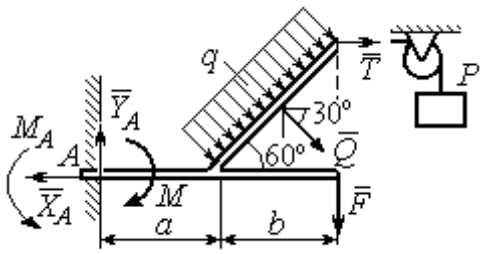


Рис. 7.3. Расчётная схема к упражнению 1.3

$Q = 8$ кН. $T = 3$ кН.

$$-X_A + T + Q\cos 30^\circ = 0;$$

$$Y_A - Q\cos 60^\circ - F = 0;$$

$$-T\,2b\cos 30^\circ - F(a+b) + M_A - M -$$

$$-Q\cos 60^\circ\left(a + \frac{b}{2}\right) - Q\cos 30^\circ\left(b\cos 30^\circ\right) = 0.$$

$M_A = 18{,}61$ кН·м, $X_A = 9{,}93$ кН, $Y_A = 6$ кН.

1.4

$Q = 6{,}93$ кН, $T = 2$ кН.

$$-X_B - T + Q\cos 30^\circ + F\cos 60^\circ = 0;$$

$$R_A - Q\cos 60^\circ + Y_B - F\cos 30^\circ = 0;$$

$$-\frac{Qa}{2\cos 30^\circ} + Y_B\left(b + \frac{a}{2\cos 30^\circ}\right) + Ta - Fa\cos 60^\circ -$$

$$-F\cos 30^\circ\left(b + \frac{a}{2\cos 30^\circ}\right) + M = 0.$$

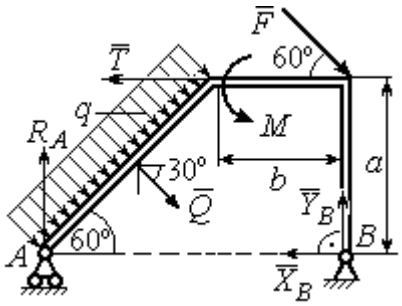


Рис.7.4. Расчётная схема к упражнению 1.4

$R_A = 0{,}72$ кН, $X_B = -5{,}5$ кН, $Y_B = 5{,}34$ кН.

1.5

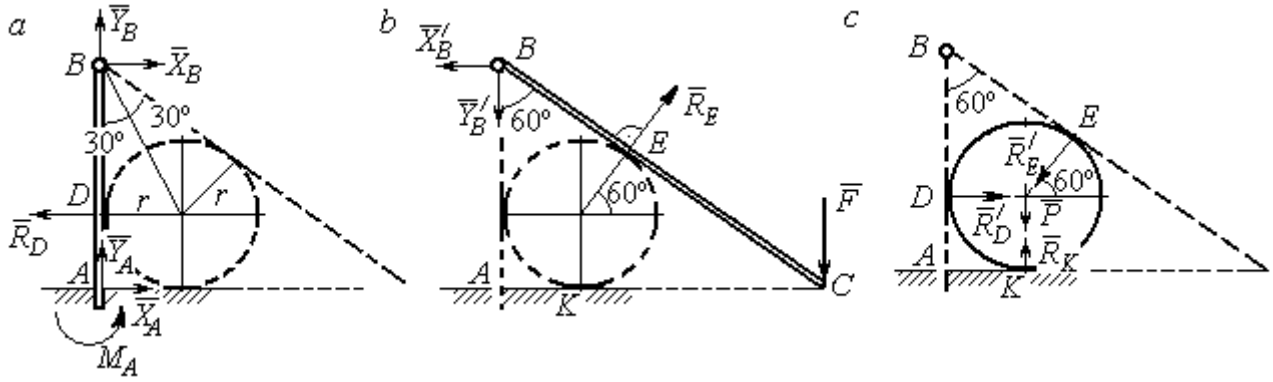


Рис. 7.5. Расчётные схемы к упражнению 1.5:
a – равновесие балки *AB*; *b* – равновесие балки *BC*; *c* – равновесие шара

$X_B = X'_B$, $Y_B = Y'_B$, $R_D = R'_D$, $R_E = R'_E$.

Балка *AB*. $AB = r + BD = r + r\operatorname{ctg}30^\circ = 2{,}73$ м.

$$X_A - R_D + X_B = 0,\ Y_A + Y_B = 0,\ M_A + R_D \cdot r - X_B \cdot AB = 0.$$

Балка BC. $BE = BD$ = 1,73 м. $AC = BC\cos 30^\circ = 2AB\cos 30^\circ$ = 4,73 м.

$$R_E\cos 60^\circ - X'_B = 0,\ RE\sin 60\circ - Y'B - F = 0,\ R_E \cdot BE - F \cdot AC = 0.$$

Шар.

$$R'_D - R'_E\cos 60^\circ = 0,\ R_K - P - R'_E\cos 30^\circ = 0.$$

R_E = 21,87 кН, Y_B = 10,94 кН, X_B = 10,94 кН, R_D = 10,94 кН;

R_K = 20,94 кН, X_A = 0, Y_A = – 10,94 кН, M_A = 18,93 кН·м.

1.6

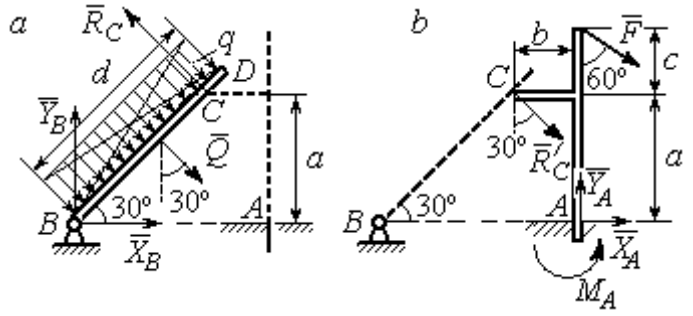


Рис. 7.6. Расчётные схемы к упражнению № 1.6:
a – равновесие балки *BD*; *b* – равновесие балки *AC*

Балка BD. Q = 15 кН.

$$X_B + Q\cos 60^\circ - R_C\cos 30^\circ = 0;$$

$$Y_B - Q\cos 30^\circ + R_C\cos 60^\circ = 0;$$

$$-Q\frac{d}{2} + R_C 2a = 0.$$

Балка AC. $R_C = R'_C$.

$$X_A + R'_C\cos 60^\circ + F\cos 30^\circ = 0,\ Y_A - R'_C\cos 30^\circ - F\cos 60^\circ = 0;$$

$$M_A - R'_C\cos 60^\circ \cdot a + R'_C\cos 30^\circ \cdot b - F\cos 30^\circ(a + c) = 0.$$

X_B = 0,61 кН, Y_B = 8,3 кН, R_C = 9,37 кН;

X_A = – 8,15 кН, Y_A = 10,11 кН, M_A = 11,65 кН·м.

1.7

Балка AB. Q_1 = 6 кН.

$T = P$ = 3 кН.

$$X_A + R_B - T\cos 60^\circ + F = 0;$$

$$Y_A - Q_1 - T\cos 30^\circ = 0;$$

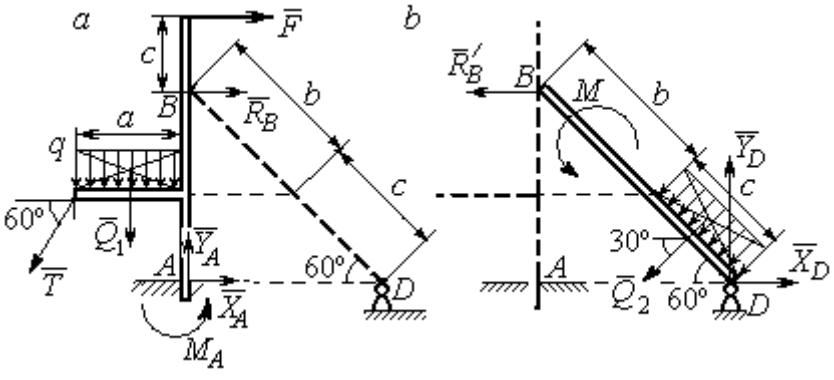


Рис. 7.7. Расчётные схемы к упражнению 1.7:
a – равновесие балки *AB*; *b* – равновесие балки *BD*

$$M_A - R_B(b+c)\cos 30^\circ + Q_1\frac{a}{2} +$$

$$+ T\cos 30^\circ a + T\cos 60^\circ c\cos 30^\circ -$$

$$- F\left[c + (b+c)\cos 30^\circ\right] = 0.$$

Балка DB. $Q_2 = 3$ кН. $R'_B = R_B$.

$$X_D - R'_B - Q_2\cos 30^\circ = 0,\ Y_D - Q_2\cos 60^\circ = 0,\ M + R'_B(b+c)\cos 30^\circ + Q_2\frac{c}{2} = 0.$$

$X_A = -1{,}49$ кН, $Y_A = 8{,}6$ кН, $M_A = 8{,}86$ кН, $R_B = -1{,}01$ кН;

$X_D = 1{,}59$ кН, $Y_D = 1{,}5$ кН.

1.8

Шар.

$$R_B\cos 60^\circ - R_D\cos 60^\circ = 0;$$

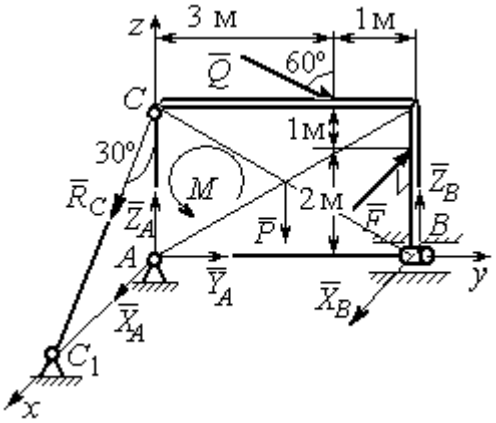


Рис. 7.9. Расчётная схема к упражнению 1.9

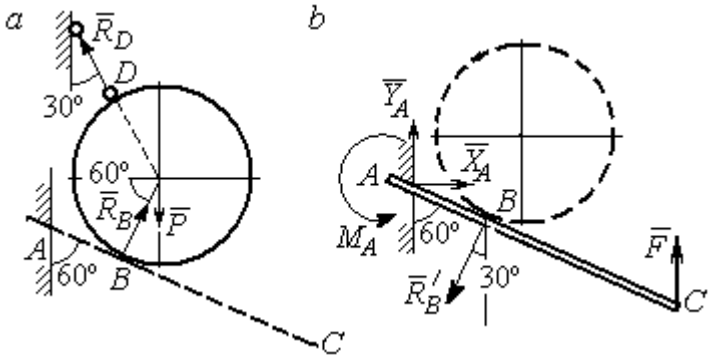


Рис. 7.8. Расчётные схемы к упражнению 1.8: *a* – равновесие шара; *b* – равновесие балки AC

$$R_B\cos 30^\circ + R_D\cos 30^\circ - P = 0.$$

Балка AC. $R'_B = R_B$.

$$X_A - R'_B\cos 60^\circ = 0;\ Y_A - R'_B\cos 30^\circ + F = 0;$$

$$M_A - R'_B AB + F\cdot AC\cos 30^\circ = 0.$$

$X_A = 2{,}89$ кН, $Y_A = 0$ кН, $M_A = -11{,}55$ кН·м, $R_B = 5{,}77$ кН, $R_D = 5{,}77$ кН.

1.9

$$X_A + R_C\cos 60^\circ + X_B - F = 0;\ Y_A + Q\cos 30^\circ = 0;$$

$$Z_A - R_C\cos 30^\circ - Q\cos 60^\circ + Z_B - P = 0;$$

$$M - Q\cos 60^\circ\cdot 3 - Q\cos 30^\circ\cdot 3 + Z_B\cdot 4 - P\cdot 2 = 0;$$

$$R_C\cos60^\circ\cdot 3 - F\cdot 2 = 0,\ -X_B\cdot 4 + F\cdot 4 = 0.$$

$$X_A = 5{,}34 \text{ кН},\ Y_A = 2{,}6 \text{ кН};$$

$$Z_A = 8{,}92 \text{ кН},\ R_C = 10{,}67 \text{ кН};$$

$$X_B = 8 \text{ кН},\ Z_B = 3{,}82 \text{ кН}.$$

1.10

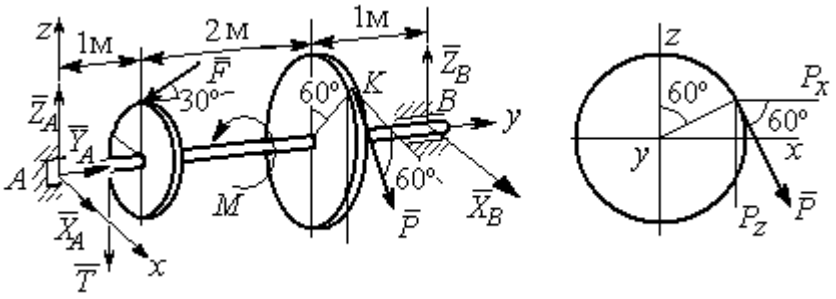


Рис. 7.10. Расчётные схемы к упражнению 1.10

$T = Q = 3$ кН.

$$X_A + P\cos60^\circ + X_B = 0,\ Y_A - F\cos30^\circ = 0;$$

$$Z_A - F\cos60^\circ - P\cos30^\circ - T + Z_B = 0.$$

$$-T\cdot 1 - F\cos60^\circ\cdot 1 + F\cos30^\circ\cdot r - P\cos30^\circ\cdot 3 + Z_B\cdot 4 = 0;$$

$$-Tr + PR - M = 0,\ -P\cos60^\circ\cdot 3 + X_B\cdot 4 = 0.$$

$X_A = 5{,}6$ кН, $Y_A = 3{,}46$ кН, $Z_A = 5{,}48$ кН, $P = 6{,}4$ кН, $X_B = 2{,}4$ кН, $Z_B = 5{,}06$ кН.

1.11

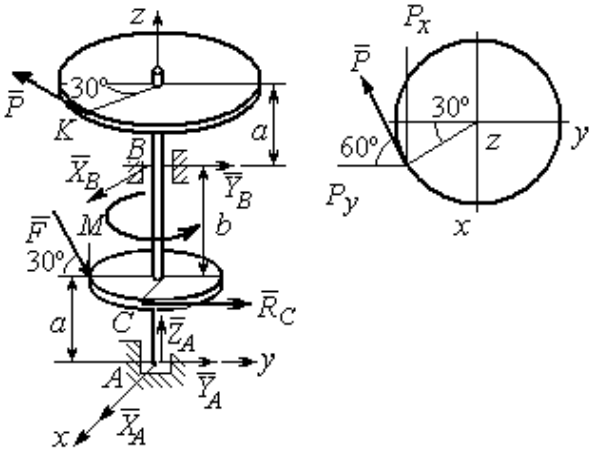


Рис. 7.11. Расчётные схемы к упражнению 1.11

$R_C = Q = 3$ кН.

$$X_A + X_B - P\cos30^\circ = 0;$$

$$Y_A + Y_B - P\cos60^\circ + R_C + F\cos30^\circ = 0;$$

$$Z_A - F\cos60^\circ = 0;$$

$$-Y_B(a+b) + P\cos60^\circ(2a+b) - R_C a - -$$

$$F\cos30^\circ\cdot a + F\cos60^\circ\cdot r = 0;$$

$$X_B(a+b) - P\cos30^\circ(2a+b) = 0;$$

$$-PR + R_C r + M = 0.$$

X_A = – 1,85 кН, Y_A = – 5,64 кН, Z_A = 2 кН, P = 6,4 кН, X_B = 7,39 кН, Y_B = 2,38кН.

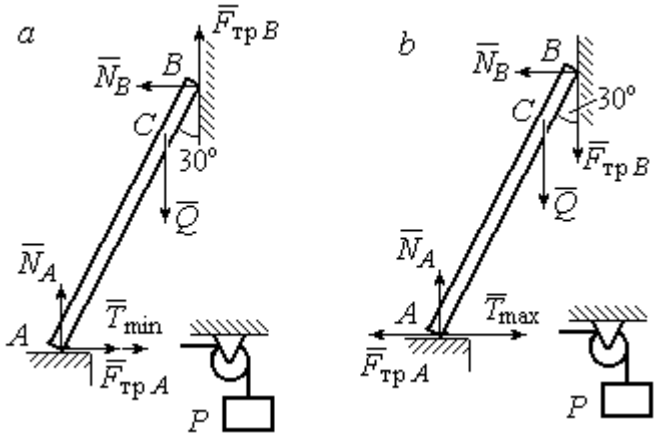


Рис. 7.13. Расчётные схемы к упражнению 1.13:
a – расчёт минимального веса груза;
b – расчёт максимального веса груза

1.12

$$T = Q = 3 \text{ кН}.$$

$$X_A + T + X_D = 0;$$

$$Y_A - F + P\cos 60^\circ = 0,$$

$$Z_A + Z_D + P\cos 30^\circ = 0;$$

$$Fa\sin 30^\circ + Z_D(b + 2a) + P(2b + 2a)\cos 30^\circ = 0;$$

$$Ta\sin 30^\circ - Pa\cos 30^\circ + M = 0;$$

$$-Ta - X_D(b + 2a) + Pa\cos 60^\circ + Fa\cos 30^\circ = 0.$$

X_A = 0,8 кН, Y_A = 2,56 кН, Z_A = 1,3 кН;

P = 2,89 кН, X_D = 0,76 кН, Z_D = – 3,80 кН.

1.13

Минимальный вес груза P:

$$T_{\min} + F_{\text{тр}A} - N_B = 0; \quad F_{\text{тр}B} + N_A - Q = 0;$$

$$F_{\text{тр}B} \cdot AB\sin 30° + N_B \cdot AB\cos 30° - Q \cdot AC\sin 30° = 0$$

Максимальный вес груза P:

$$T_{\max} - F_{\text{тр}A} - N_B = 0; \quad -F_{\text{тр}B} + N_A - Q = 0;$$

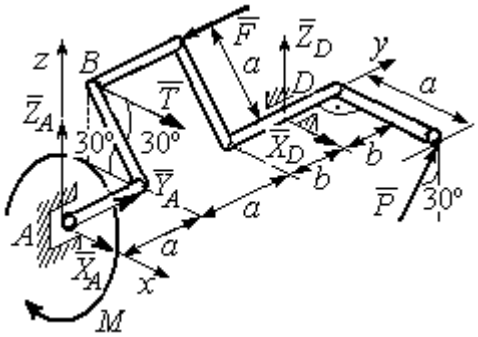


Рис. 7.12. Расчётная схема к упражнению 1.12

$$-F_{\text{тр}B} \cdot AB\sin 30° + N_B \cdot AB\cos 30° - Q \cdot AC\sin 30° = 0;$$

$$F_{\text{тр}A} = f N_A, \quad F_{\text{тр}B} = f N_B.$$

$$T_{\min} = 31.77 \text{ Н} < P < T_{\max} = 130{,}51 \text{ Н}.$$

1.14

Шкив. $T = T_1 = Q$.

$$T \cdot R - T_1 r + M - F_{\text{тр}} R = 0.$$

$$F_{\text{тр}} = 266{,}67 \text{ Н};$$

$$N = \frac{F_{\text{тр}}}{f} = 666{,}67 \text{ Н}.$$

Рычаг. $N = N'$. $F_{\text{тр}} = F'_{\text{тр}}$.

$$P(a+b) - N' \cdot b + F'_{\text{тр}} c = 0.$$

$$P = 320 \text{ Н}.$$

$$-X_A - P + N' = 0;$$

$$Y_A - F'_{\text{тр}} = 0.$$

X_A=346,67 Н, Y_A=266,67 Н.

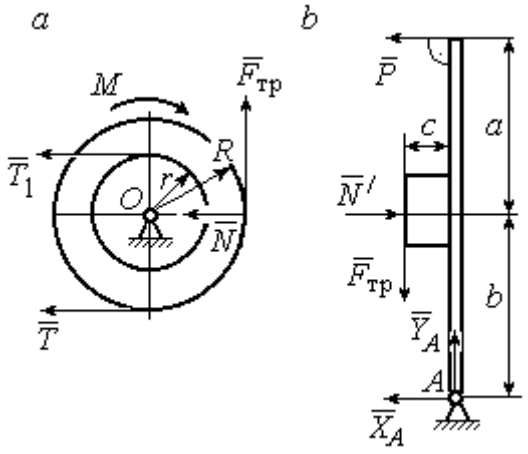


Рис. 7.14. Расчётные схемы к упражнению 1.14: *a* – равновесие шкива; *b* – равновесие рычага

$$\omega_{3z} = \omega_{1z} \frac{R_1}{r_2} \frac{R_2}{R_3} = \left(3 + \pi \cos\frac{\pi t}{2}\right)\frac{4}{3};$$

$$\omega_3(1) = |\omega_{3z}(1)| = 4 \text{ рад/с}.$$

7.2. Ответы к упражнениям главы 2

2.1

$$\omega_{1z} = \dot{\varphi}_1 = 3 + \pi \cos\frac{\pi t}{2},\ \omega_1(1) = |\omega_{1z}(1)| = 3$$

рад/с.

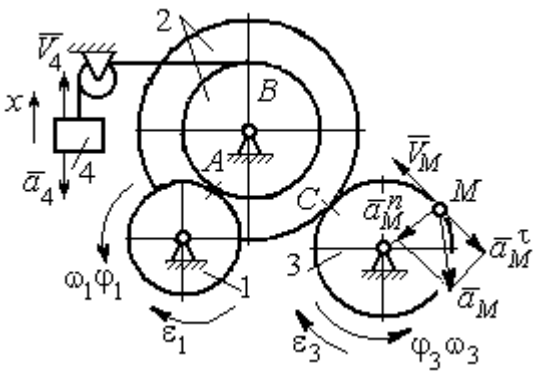


Рис. 7.15. Расчётная схема к упражнению 2.1

$$V_M(1) = \omega_3(1) R_3 = 40 \text{ см/с}.$$

$$\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = -\frac{2\pi^2}{3}\sin\frac{\pi t}{2}, \quad \varepsilon_{3z}(1) = -\frac{2\pi^2}{3};$$

$$\varepsilon_3(1) = |\varepsilon_{3z}(1)| = \frac{2\pi^2}{3} = 6{,}58 \text{ рад/с}^2.$$

$\bar{a}_M = \bar{a}_M^n + \bar{a}_M^\tau$, $a_M^n(1) = \omega_3^2(1)R_3 = 160$ см/с^2, $a_M^\tau(1) = \varepsilon_3(1)R_3 = 65{,}8$ см/с^2.

$$a_M(1) = 173 \text{ см/с}^2.$$

$$V_{4x} = V_A = \omega_{1z}R_1 = \left(3 + \pi\cos\frac{\pi t}{2}\right)8; \quad V_4(1) = |V_{4x}(1)| = 24 \text{ см/с}.$$

$$\dot{V}_{4x} = -4\pi^2\sin\frac{\pi t}{2}, \; \dot{V}_{4x}(1) = -4\pi^2; \; a_4(1) = |\dot{V}_{4x}(1)| = 39{,}48 \text{ см/с}^2.$$

2.2

$$V_{4x} = \dot{x}_4 = 1 - \frac{\pi}{3}\cos\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3};$$

$$V_{4x}(3) = 2{,}05 \text{ м/с}, \; V_4 = |V_{4x}(3)|$$

$$\omega_{3z} = \frac{V_{4x}}{r_3} = \frac{1}{r_3}\left(1 - \frac{\pi}{3}\cos\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3}\right);$$

$$\omega_{3z}(3) = 6{,}83 \text{ рад/с}; \; \omega_3 = |\omega_{3z}(3)|.$$

$$\varepsilon_{3z} = \dot{\omega}_{3z} = \frac{1}{r_3}\left(\frac{\pi^2}{9}\sin\frac{\pi t}{3} - \frac{\pi^2}{9}\cos\frac{\pi t}{3}\right).$$

$$\varepsilon_{3z}(3) = 3{,}65 \text{ рад/с}^2; \; \varepsilon_3 = |\varepsilon_{3z}(3)|.$$

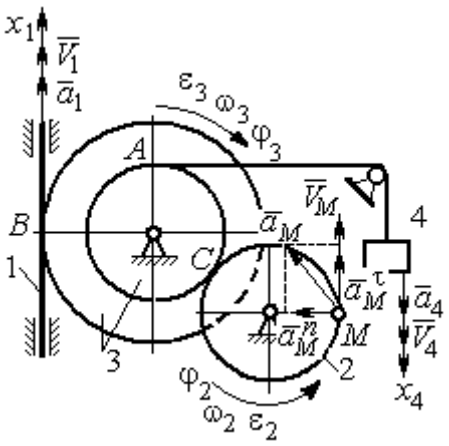


Рис. 7.16. Расчётная схема к упражнению 2.2

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{R_2}{r_3}; \; \omega_2 = \omega_3\frac{r_3}{R_2} = 10{,}25 \text{ рад/с}; \; V_M = \omega_2 R_2 = 2{,}05 \text{ м/с}.$$

$$\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2} = \frac{R_2}{r_3}; \; \varepsilon_2 = \varepsilon_3\frac{r_3}{R_2} = 5{,}47 \text{ рад/с}^2.$$

$$a_M^n = \omega_2^2 R_2 = 20{,}4 \text{ м/с}^2; \; a_M^\tau = \varepsilon_2 R_2 = 1{,}09 \text{ м/с}^2.$$

$$a_M = \sqrt{\left(a_M^n\right)^2 + \left(a_M^\tau\right)^2} = 20{,}43 \text{ м/с}^2.$$

$$V_1 = \omega_3 R_3 = 2{,}73 \text{ м/с}; \; a_1 = \dot{V}_1 = \dot{\omega}_3 R_3 = \varepsilon_3 R_3 = 2{,}19 \text{ м/с}^2.$$

2.3

$BP_2 = BC\cos 30° = 4{,}33$ см; $CP_2 = 2{,}5$ см.

$$\omega_{BC} = \frac{V_B}{BP_2} = 1{,}15 \text{ рад/с};\quad V_C = \omega_{BC} CP_2 = 2{,}87 \text{ см/с};$$

$$\omega_1 = \frac{V_C}{CP_1} = 0{,}72 \text{ рад/с};\quad EP_1 = 2R_1\cos 30^\circ = 3{,}46 \text{ см};$$

$$V_E = \omega_1 EP_1 = 2{,}49 \text{ см/с};\quad EP_3 = 2AE\cos 30^\circ = 10{,}39 \text{ см};$$

$$\omega_{AE} = \frac{V_E}{EP_3} = 0{,}24 \text{ рад/с};\quad EA = AP_3;$$

$$V_A = \omega_{AE} AP_3 = 1{,}44 \text{ см/с},\quad \omega_{AO} = \frac{V_A}{AO} = 0{,}24 \text{ рад/с}.$$

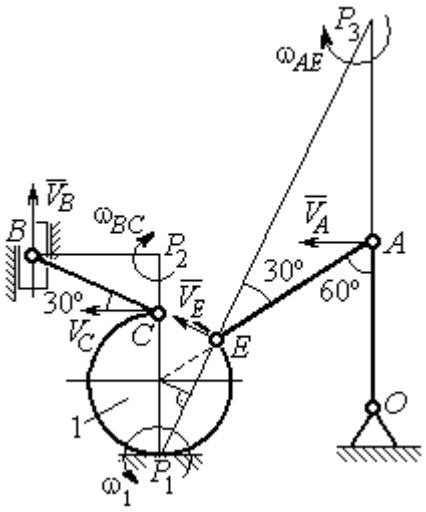


Рис. 7.17. Расчётная схема к упражнению 2.3

2.4

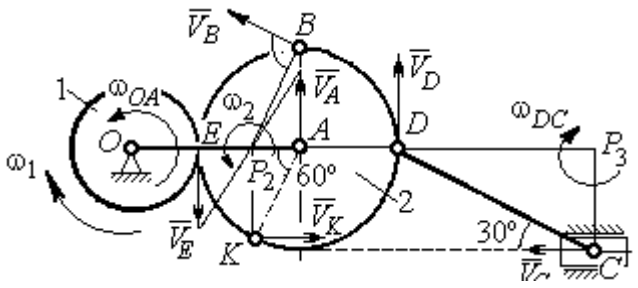


Рис. 7.18. Расчётная схема к упражнению 2.4

E – точка касания дисков.

$$V_E = \omega_1 r_1 = 18 \text{ см/с}.$$

$$V_A = \omega_{OA}(r_1 + r_2) = 18 \text{ см/с}.$$

$$EP_2 = P_2A = 3 \text{ см},\ \omega_2 = \frac{V_E}{EP_2} = 6 \text{ рад/с}.$$

$$V_K = \omega_2 P_2 K = 31{,}18 \text{ см/с}.$$

$$V_B = \omega_2 P_2 B = 40{,}25 \text{ см/с};\ V_D = \omega_2 P_2 D = 54 \text{ см/с}.$$

$$DC = 2r_2,\ \omega_{DC} = \frac{V_D}{DP_3} = 5{,}197 \text{ рад/с};\ V_C\cos 30^\circ = V_D\cos 60^\circ,\ V_C = 31{,}18 \text{ см/с}.$$

2.5

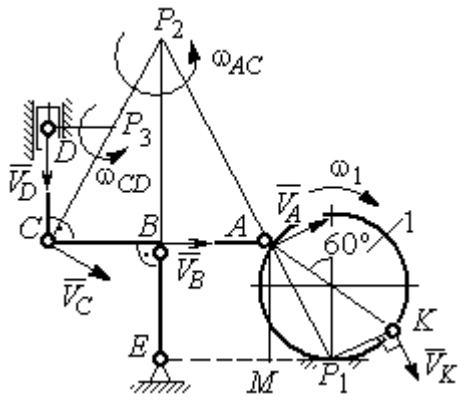


Рис. 7. 19. Расчётная схема к упражнению 2.5.

$$BE = 1{,}5R_1;\ R_1 = 2{,}67 \text{ см}.$$

$$KP_1 = R_1;\ \omega_1 = \frac{V_K}{KP_1} = 0{,}75 \text{ рад/с}.$$

$$AP_1 = \frac{AM}{\cos 30^\circ} = 4{,}62 \text{ см};\ V_A = \omega_1 P_1 A = 3{,}46 \text{ см/с}.$$

$$AP_2 = 2AB = 8 \text{ см};\ \omega_{AC} = \frac{V_A}{AP_2} = 0{,}43 \text{ рад/с}.$$

$$V_B \cos 0^\circ = V_A \cos 30^\circ;\ V_B = 2{,}99 \text{ см/с}.$$

$$\omega_{BE} = \frac{V_B}{BE} = 0{,}75 \text{ рад/с};\ V_C = V_A = 3{,}46 \text{ см/с};\ CP_3 = \frac{DC}{\cos 30^\circ} = 4{,}62 \text{ см};$$

$$\omega_{CD} = \frac{V_C}{CP_3} = 0{,}75 \text{ рад/с};\ V_D \cos 0^\circ = V_C \cos 60^\circ;\ V_D = 1{,}73 \text{ см/с}.$$

2.6

$$V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 12 \text{ см/с};\ \omega_{AD} = 0,\ V_D = V_A.$$

$$\omega_{O_1C} = \frac{V_D}{DO_1} = 3 \text{ рад/с};$$

$$V_C = \omega_{O_1C} \cdot O_1C = 48 \text{ см/с}.$$

$$CB = CP = 16 \text{ см};\ \omega_{CB} = \omega_{CL} = \frac{V_C}{CP} = 3 \text{ рад/с}.$$

$$PL = \frac{CP}{\cos 30^\circ} = 18{,}48 \text{ см};\ PB = 2BC\cos 30^\circ.$$

$$V_L = \omega_{CL} \cdot PL = 55{,}44 \text{ см/с};$$

$$V_B = \omega_{CB} \cdot PB = 83{,}13 \text{ см/с}.$$

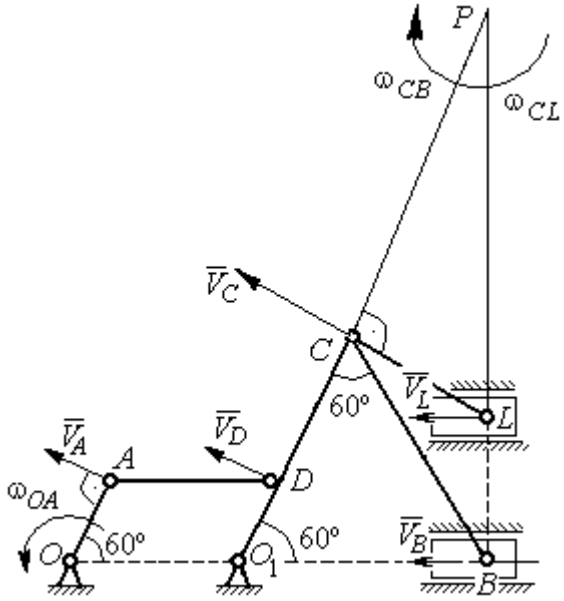


Рис. 7.20. Расчётная схема к упражнению 2.6.

2.7

$V_D = \omega_1 R_1 = 30$ см/с; $V_A = \omega_{OA} \cdot OA = 15$ см/с.

$$\omega_2 = \frac{V_A}{AP_2} = 3 \text{ рад/с.}$$

$$V_B = \omega_2 \cdot P_2 B = 21{,}21 \text{ см/с.}$$

$$V_C \cos 0^\circ = V_B \cos 45^\circ;\ V_C = 15 \text{ см/с.}$$

$$CP_3 = CB;\ \omega_{BC} = \frac{V_C}{CP_3} = 1{,}87 \text{ рад/с.}$$

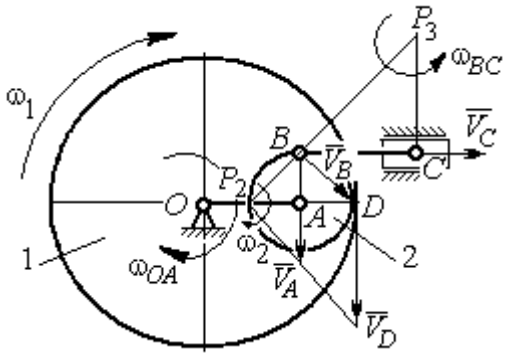


Рис. 7.21. Расчётная схема к упражнению 2.7

2.8

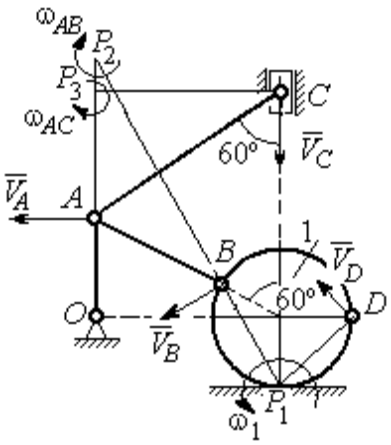


Рис. 7.22. Расчётная схема к упражнению 2.8

$AC = AB + R_1 = 12$ см; $CP_3 = AC \cos 30^\circ = 10{,}39$ см.

$$\omega_{AC} = \frac{V_C}{CP_3} = 0{,}48 \text{ рад/с;}\ V_A = \omega_{AC} \cdot AP_3 = 2{,}89 \text{ см/с.}$$

$$AB = AP_2;\ \omega_{AB} = \frac{V_A}{AP_2} = 0{,}29 \text{ рад/с.}$$

$$BP_2 = 2AB \cos 30^\circ = 17{,}32 \text{ см.}$$

$$V_B = \omega_{AB} BP_2 = 5{,}02 \text{ см/с.}$$

$$OA = (AB + R_1)\sin 30^\circ = 6 \text{ см;}\ \omega_{OA} = \frac{V_A}{AO} = 0{,}48 \text{ рад/с.}$$

$$BP_1 = 2R_1 \cos 30^\circ = 3{,}46 \text{ см;}\ \omega_1 = \frac{V_B}{BP_1} = 1{,}45 \text{ рад/с.}$$

$$DP_1 = R_1\sqrt{2} = 2{,}82 \text{ см;}\ V_D = \omega_1 DP_1 = 4{,}09 \text{ см/с.}$$

2.9

$$V_A = \omega_{OA} OA = 12 \text{ см/с;}\quad AP = 2AB = 2BC \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 27{,}71 \text{ см.}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{AP} = 0{,}43 \text{ рад/с;}\ V_B \cos 0^\circ = V_A \cos 30^\circ;\ V_B = 10{,}38 \text{ см/с.}$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B}{BC} = 1{,}29 \text{ рад/с.}$$

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA};\quad \bar{a}_B = \bar{a}_C + \bar{a}^n_{BC} + \bar{a}^\tau_{BC},\ a_C = 0.$$

$$\bar{a}_A = \bar{a}_O + \bar{a}^n_{AO} + \bar{a}^\tau_{AO},\ a_O = 0.$$

$$\bar{a}^n_{BC} + \bar{a}^\tau_{BC} = \bar{a}^n_{AO} + \bar{a}^\tau_{AO} + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA}.$$ Найти a^τ_{BC}

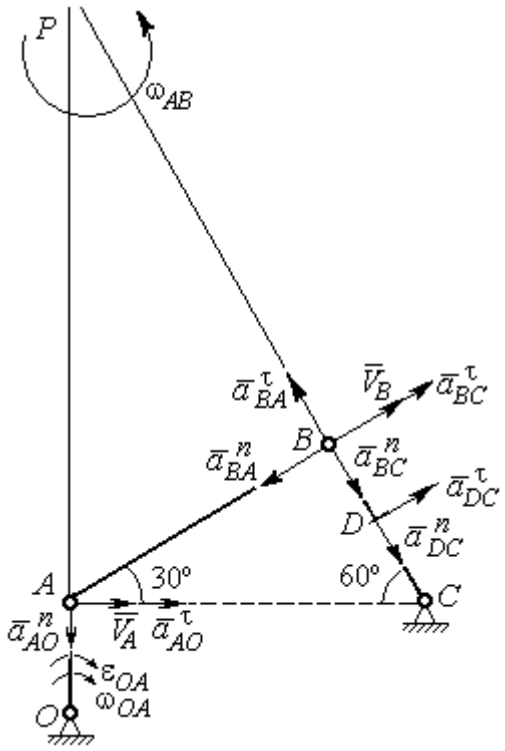


Рис. 7.23. Расчётная схема к упражнению 2.9

$$a^n_{AO} = \omega^2_{AO} \cdot AO = 36 \text{ см/с}^2;$$

$$a^\tau_{AO} = \varepsilon_{AO} \cdot AO = 8 \text{ см/с}^2;$$

$$AB = BC \cdot \text{tg}60^\circ = 13{,}86 \text{ см}.$$

$$a^n_{BA} = \omega^2_{AB} \cdot AB = 2{,}56 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{AB} = \varepsilon_{AB} AB.$$

$$a^n_{BC} = \omega^2_{BC} \cdot BC = 13{,}31 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{BC} = \varepsilon_{BC} BC.$$

Проекция на AB:

$$a^\tau_{BC} = -a^n_{AO}\cos 60^\circ +$$

$$+ a^\tau_{AO}\cos 30^\circ - a^n_{BA} = 13{,}63 \text{ см/с}^2.$$

$$\varepsilon_{BC} = \frac{\left|a^\tau_{BC}\right|}{BC} = 1{,}7 \text{ рад/с}^2.$$

$$\bar{a}_D = \bar{a}^n_{DC} + \bar{a}^\tau_{DC}.$$

$$a^n_{DC} = \omega^2_{BC} \cdot DC = 6{,}65 \text{ см/с}^2;\ \ a^\tau_{DC} = \varepsilon_{BC} \cdot DC = 6{,}8 \text{ см/с}^2.$$

$$a_D = \sqrt{\left(a^n_{DC}\right)^2 + \left(a^\tau_{DC}\right)^2} = 9{,}51 \text{ см/с}^2.$$

2.10

$$V_A = \omega_1 r_1 = 12 \text{ см/с};\ P_2A = \frac{1}{2}BC = 5 \text{ см}.$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{P_2A} = 2{,}4 \text{ рад/с}.$$

$$V_B\cos 30^\circ = V_A\cos 60^\circ;\ V_B = 6{,}93 \text{ см/с}.$$

$$P_3B = BC\cos 30^\circ = 8{,}66 \text{ см};$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B}{P_3B} = 0{,}8 \text{ рад/с}.$$

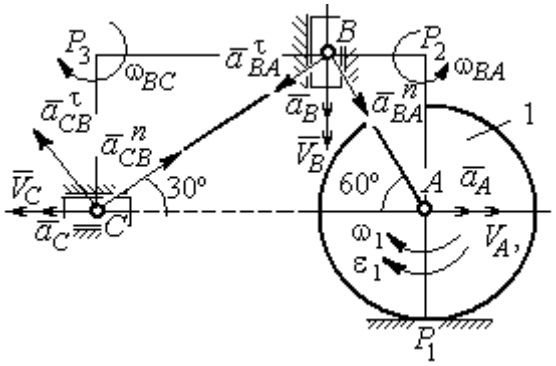


Рис. 7.24. Расчётная схема к упражнению 2.10

$$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}^n_{BA} + \bar{a}^\tau_{BA}.$$ Найти a_B.

Проекция на BA: $a_B\cos 30^\circ = a_A\cos 60^\circ + a_{BA}^n$.

$$a_A = a_A^\tau = \varepsilon_1 r_1 = 8 \text{ см/с}^2;\ AB = BC\operatorname{tg}30^\circ = 5{,}77 \text{ см}.$$

$$a_{BA}^n = \omega_{BA}^2 \cdot BA = 33{,}23 \text{ см/с}^2;\ \ a_B = 43{,}03 \text{ см/с}^2.$$

$$\bar{a}_C = \bar{a}_B + \bar{a}_{CB}^n + \bar{a}_{CB}^\tau.$$

Проекция на BC: $a_C\cos 60^\circ = a_B\cos 60^\circ - a_{CB}^n$,

$$a_{CB}^n = \omega_{CB}^2 \cdot CB = 6{,}4 \text{ см/с}^2;\ \ a_C = a_B - 2a_{CB}^n = 30{,}23 \text{ см/с}^2.$$

7.3. Ответы к упражнениям главы 3

3.1

$$CM_1 = S_r(1) = \frac{40}{3}\sin\frac{\pi}{3} = 11{,}55 \text{ см}.$$

Так как $CM_1\cos 30^\circ = 10$ см $= R$, то точка M_1 лежит на вертикальном диаметре.

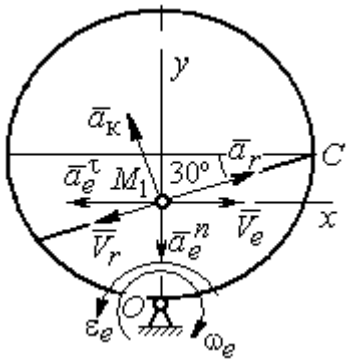


Рис. 7.25. Расчётная схема к упражнению 3.1

$$V_r = \dot{S}_r = \frac{40\pi}{9}\cos\frac{\pi t}{3};\ V_r(1) = 6{,}98 \text{ см/с}.$$

$$\omega_e(1) = 0{,}5 \text{ рад/с};\ OM_1 = R - \frac{1}{2}CM_1 = 4{,}23 \text{ см}.$$

$$V_e = \omega_e OM_1;\ \ V_e(1) = 2{,}12 \text{ см/с}.$$

$$\bar{V}_M = \bar{V}_e + \bar{V}_r.$$

$$V_{Mx} = V_e - V_r\cos 30^\circ = -3{,}93 \text{ м/с};\ V_{My} = -V_r\cos 60^\circ = -3{,}49 \text{ м/с};$$

$$V_M = \sqrt{(V_{Mx})^2 + (V_{My})^2} = 5{,}26 \text{ см/с}.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_к.$$

$$\bar{a}_e = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau,\ \ a_e^n = \omega_e^2 OM_1;\ \ a_e^n(1) = 1{,}06 \text{ см/с}^2.$$

$$\dot{\omega}_e = -\frac{\pi}{3}\sin\frac{\pi t}{3},\ \ \dot{\omega}_e(1) = -0{,}91 \text{ рад/с}^2;\ \ \varepsilon_e = |\dot{\omega}_e(1)| = 0{,}91 \text{ рад/с}^2,$$

$$a_e^\tau(1) = \varepsilon_e \cdot OM_1 = 3{,}85 \text{ см/с}^2.$$

$$\dot{V}_r = -\frac{40\pi^2}{27}\sin\frac{\pi t}{3},\ \dot{V}_r(1) = -12{,}66;\ a_r = \left|\dot{V}_r(1)\right| = 12{,}66\ \text{см/с}^2$$

$$a_к = 2\left|\omega_e\right| \cdot \left|V_r\right|;\ \ a_к(1) = 6{,}98\ \text{см/с}^2.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau + \bar{a}_r + \bar{a}_к.$$

$$a_{Mx} = -a_e^\tau + a_r\cos 30° - a_к\cos 60° = 3{,}62\ \text{см/с}^2;$$

$$a_{My} = -a_e^n + a_r\cos 60° + a_к\cos 30° = 11{,}31\ \text{см/с}^2.$$

$$a_M = \sqrt{(a_{Mx})^2 + (a_{My})^2} = 11{,}87\ \text{см/с}^2.$$

3.2

Положение M_1:

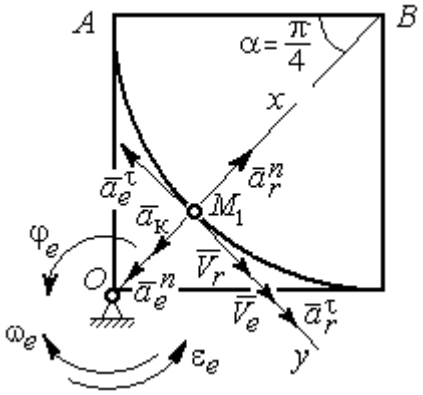


Рис. 7.26. Расчётная схема к упражнению 3.2

$$\alpha = \frac{S_r(1)}{R} = \frac{\pi}{4};\ \ OM_1 = 8{,}28\ \text{см}.$$

$$\dot{S}_r = 10\pi t;\ \ V_r = \left|\dot{S}_r(1)\right| = 31{,}42\ \text{см/с}.$$

$$\dot{\varphi}_e = 2t - 5,$$

$$\dot{\varphi}_e(1) = -3\ \text{рад/с},\ \ \omega_e = \left|\dot{\varphi}_e(1)\right| = 3\ \text{рад/с}.$$

$$V_e = \omega_e \cdot OM_1 = 24{,}6\ \text{см/с}.$$

$$\bar{V}_M = \bar{V}_e + \bar{V}_r \cdot\ V_{Mx} = V_e + V_r = 56{,}02\ \text{см/с};$$

$$V_{My} = 0;\ V_M = 56{,}02\ \text{см/с}.$$

$$\bar{a}_M = \bar{a}_e + \bar{a}_r + \bar{a}_к = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau + \bar{a}_r^n + \bar{a}_r^\tau + \bar{a}_к.$$

$$\bar{a}_e = \bar{a}_e^n + \bar{a}_e^\tau\ \cdot\ a_e^n = \omega_e^2 \cdot OM_1 = 74{,}52\ \text{см/с}^2;$$

$$\dot{\omega}_e = 2\ \text{рад/с}^2;\ \varepsilon_e = \left|\dot{\omega}_e\right|;\ \ a_e^\tau(1) = \varepsilon_e OM_1 = 16{,}56\ \text{см/с}^2;$$

$$\bar{a}_r = \bar{a}_r^n + \bar{a}_r^\tau \cdot \dot{V}_r = 10\pi;\ a_r^\tau = \left|\dot{V}_r\right| = 10\pi = 31{,}42\ \text{см/с}^2;$$

$$a_r^n(1) = \frac{V_r^2}{R} = 49{,}36\ \text{см/с}^2;\ \ a_к = 2\left|\omega_e\right| \cdot \left|V_r\right|;\ \ a_к(1) = 62{,}84\ \text{см/с}^2.$$

$$a_{Mx} = -a_e^n + a_r^n - a_к = -88\ \text{см/с}^2;\ a_{My} = -a_e^\tau + a_r^\tau = 14{,}86\ \text{см/с}^2.$$

$$a_M = \sqrt{(a_{Mx})^2 + (a_{My})^2} = 89{,}24\ \text{см/с}^2.$$

7.4. Ответы к упражнениям главы 4

4.1

$$m\ddot{x} = F - P\cos 60° - F_{\text{тр}}, \quad m\ddot{y} = N - P\cos 30° = 0.$$

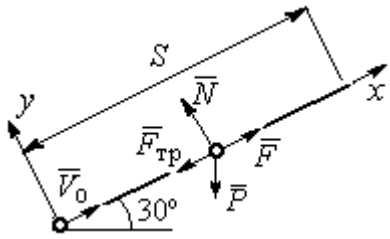


Рис. 7.27. Расчётная схема к упражнению 4.1

$$F_{\text{тр}} = fN = fmg\cos 30°;$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{2}kt - 3{,}4, \quad \dot{x} = \frac{1}{4}kt^2 - 3{,}4t + V_0;$$

$$x = \frac{1}{12}kt^3 - 1{,}7t^2 + V_0 t.$$

Конечные условия: $t = 2$ с; $x = S = 2$ м; $V = 2V_0$.

$$V_0 = k - 6{,}8; \quad 1 = \frac{1}{3}k - 3{,}4 + V_0.$$

$$k = 8{,}4; \; V_0 = 1{,}6 \text{ м/с}.$$

4.2

Уравнения движения точки:

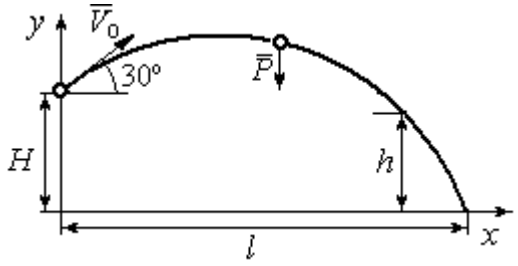


Рис. 7.28. Расчётная схема к упражнению 4.2

$$m\ddot{x} = 0; \; \dot{x} = V_0\cos 30°; \; x = V_0 t\cos 30°.$$

$$m\ddot{y} = -P; \dot{y} = -gt + V_0\cos 60°;$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t\cos 60° + H.$$

Краевое условие пролёта высоты h:

$$t = 1 \text{ с}; \; y = h = 7 \text{ м}.$$

Подставляя краевые условия в уравнение движения, находим: $V_0 = 3{,}81$ м/с.

Краевое условие падения точки:

$$t = t_{\text{пад}}; \; x = l; \; y = 0.$$

Подстановка в уравнения движения условия приводит к системе:

$$l = V_0 t_{\text{пад}}\cos 30°; \; 0 = -\frac{1}{2}gt_{\text{пад}}^2 + V_0 t_{\text{пад}}\cos 60° + H.$$

Находим: $t_{\text{пад}} = 1{,}64$ с; $l = 5{,}41$ м.

4.3

Уравнение движения груза (рис. 7.29, *a*): $m\ddot{S} = -F = -k\dot{S}$.

Начальные условия: $t = 0$; $S = 0$; $\dot{S} = V_0$.

Решение: $S = \frac{mV_0}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right) = 6\left(1 - e^{-t}\right)$ м.

Скорость груза: $\dot{S} = 6e^{-t}$.

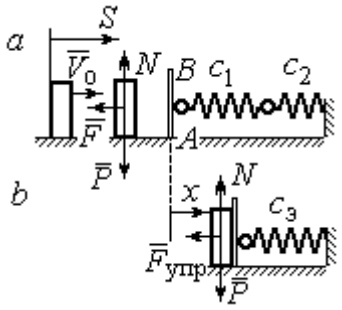


Рис. 7.29. Расчётная схема к упражнению 4.3: *a* – движение груза до начала колебаний; *b* – колебания груза

Скорость груза в момент соединения с площадкой *AB*: $V_1 = \dot{S}(1) = 0{,}21$ м/с.

Уравнение колебаний груза на эквивалентной пружине (рис. 7.29, *b*):

$$m\ddot{x} = -F_{упр} = -c_э x;\ c_э = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} = 30 \text{ Н/м}.$$

Начальные условия движения: $t = 0$; $x = 0$; $\dot{x} = V_1$.

Общий вид решения: $x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t$; $\omega = \sqrt{\frac{c_э}{m}} = 7{,}75$ рад/с, где константы: $C_1 = 0$; $C_2 = \frac{V_1}{\omega} = 0{,}28$ м. Закон движения груза $x = 0{,}28\sin 7{,}75t$.

Максимальное сжатие 0,28 м.

4.4

Жесткость эквивалентной пружины

$$c_э = \frac{c \cdot 2c}{c + 2c} = \frac{2}{3}c.$$

Уравнение колебаний:

$$m\ddot{x} = P - F_{упр} = P - c_э(\lambda_{ст} + x) = -c_э x.$$

Общее решение:

$$x = C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t;\ \omega = \sqrt{\frac{c_э}{m}} = 10{,}33 \text{ рад/с}.$$

Начальные условия: $t = 0$; $x = 0$; $\dot{x} = -V_0$.

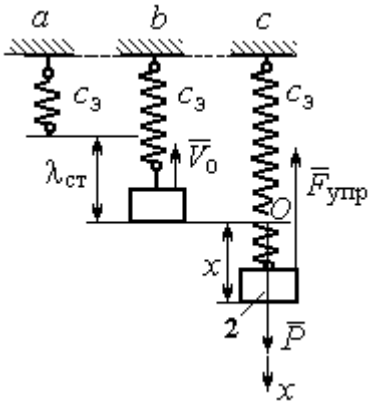


Рис. 7.30. Расчётная схема к упражнению 4.4: *a* – нерастянутая пружина; *b* – положение статического равновесия; *c* – произвольное положение груза

Находим константы интегрирования: $C_1 = 0$; $C_2 = \dfrac{V_0}{\omega} = 0{,}39$ м.

Закон движения груза: $x = 0{,}39\sin 10{,}33t$.

Амплитуда $A = 0{,}39$ м, частота $\omega = 10{,}33$ рад/с.

4.5

Скорость человека, находящегося в самолёте, в нижней точке траектории (точка C):

$$\frac{mV_C^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mg\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right].$$

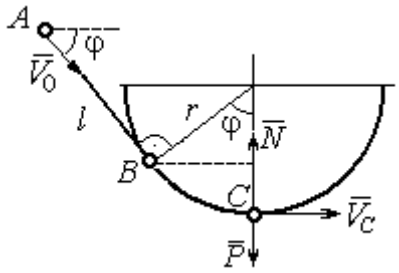


Рис. 7.31. Расчётная схема к упражнению 4.5

Откуда $V_C^2 = V_0^2 + 2g\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right]$.

Уравнение движения человека, двигающегося вместе с самолётом, в проекции на нормаль в точке C: $\dfrac{mV_C^2}{r} = N - P$, где N – реакция корпуса самолёта. Сила давления человека на корпус самолёта по величине равна реакции, но направлена в противоположную сторону.

Из условия $N \le 3P$ следует неравенство: $V_C^2 \le 2gr$, или

$$V_0^2 + 2g\left[l\sin\varphi + r(1-\cos\varphi)\right] \le 2gr.$$ Откуда $r \ge \dfrac{V_0^2 + 2gl\sin\varphi}{2g\cos\varphi}$.

4.6

Из уравнения теоремы об изменении кинетической энергии шарика в точке B с учётом, что $V_A = 0$, найдём:

$$\frac{mV_B^2}{2} = \frac{ca^2}{2} + mg\left[R + R\cos 60° - a\cos 30°\right].$$

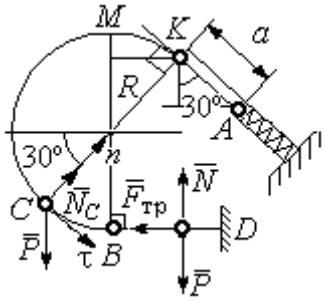


Рис. 7.32. Расчётная схема к упражнению 4.6

Составим уравнение теоремы об изменении кинетической энергии точки на участке BD:

$-\frac{mV_B^2}{2} = -fNs$, где s – путь точки до остановки. С учётом данных задачи, получим: s = 5,39 м.

Уравнение движения шарика в проекции на нормальную ось в точке C

$$\frac{mV_C^2}{R} = N_C - P\cos 60°.$$

Для вычисления реакции опоры шарика на трубу имеем равенство $N_C = \frac{mV_C^2}{R} + P\cos 60° = \frac{1}{R}\left[mV_B^2 - 2mgR(1-\cos 60°)\right] + mg\cos 60°$, где кинетическая энергия шарика в точке B: $mV_B^2 = ca^2 + 2mgR\left[(1+\cos 60°) - \frac{a}{R}\cos 30°\right]$. Получим: $N_C = 18{,}71$ Н. Давление шарика на трубку равно реакции опоры и направлено в противоположную сторону.

7.5. Ответы к упражнениям главы 5

5.1

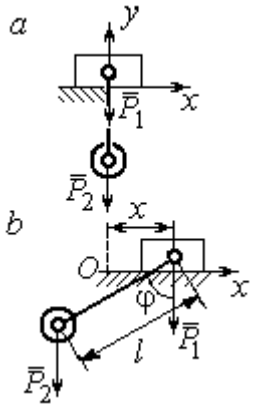


Рис. 7.33. Расчётная схема к упражнению 5.1:
a – начальное положение системы;
b – произвольное положение

x_0 – координата центра тяжести системы в начальном положении, x_0 = 0 (см. рис.7.33); x – текущая координата центра тележки; x_1 – координата центра тяжести системы в её произвольном положении: $x_1 = \frac{m_1 x - m_2(l\sin\varphi - x)}{m_1 + m_2}$.

Уравнение закона сохранения движения центра масс системы: $x_1 = x_0$, или

$$m_1 x - m_2(l\sin\varphi - x) = 0.$$

Отсюда зависимость координаты движения тележки от положения груза 2: $x = \frac{m_2 l}{m_1 + m_2}\sin\varphi$.

5.2

Теорема об изменении кинетического момента системы относительно оси z: $\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\vec{F}_k^e)$.

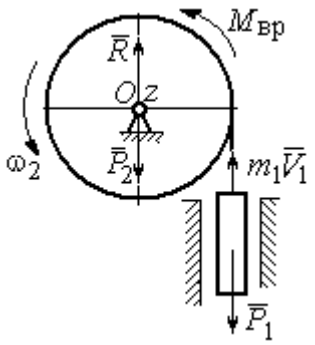


Рис. 7.34. Расчётная схема к упражнению 5.2

Кинетический момент системы:

$$L_z = L_z^{бар} + L_z^{гр} = \frac{m_2 r^2}{2}\omega + m_1 V_1 r = \left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right)\omega r^2.$$

Суммарный момент внешних сил относительно оси z: $\sum M_z(\vec{F}_k^e) = M_{вр} - P_1 r = kt - m_1 g r$.

Дифференциальное уравнение вращения барабана:

$$\left(m_1 + \frac{m_2}{2}\right) r^2 \frac{d\omega}{dt} = kt - m_1 g r.$$

При нулевых начальных условиях $\omega = \frac{kt^2 - 2m_1 grt}{(2m_1 + m_2)r^2}$.

5.3

Уравнение теоремы об изменении кинетической энергии для неизменяемых систем на конечном перемещении: $T - T_0 = \sum A(F_k)$, $T_0 = 0$.

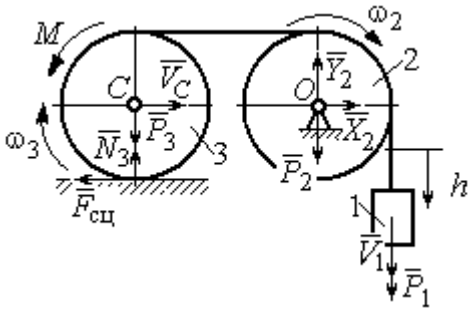


Рис. 7.35. Расчётная схема к упражнению 5.3

Кинетическая энергия груза 1: $T_1 = \frac{m_1 V_1^2}{2}$. Энергия вращательного движения блока 2: $T_2 = \frac{1}{2} J_O \omega_2^2$, где осевой момент инерции блока: $J_O = \frac{m_2 r^2}{2}$, угловая скорость блока $\omega_2 = \frac{V_1}{r}$. Кинетическая энергия катка 3: $T_3 = \frac{1}{2} m_3 V_C^2 + \frac{1}{2} J_C \omega_3^2$, где момент инерции катка относительно оси, проходящей

через центр масс перпендикулярно плоскости диска, $J_C = \frac{m_3 r^2}{2}$, угловая скорость катка и скорость его центра масс $\omega_3 = \frac{V_1}{2r}$, $V_C = \frac{V_1}{2}$.

Энергия системы: $T = T_1 + T_2 + T_3 = (8m_1 + 4m_2 + 3m_3)\frac{V_1^2}{16}$.

Суммарная работа вешних сил на перемещении h: $\sum A(F_k) = P_1 h - M\frac{h}{2r}$.

Уравнение теоремы об изменении кинетической энергии:

$$(8m_1 + 4m_2 + 3m_3)\frac{V_1^2}{16} = \left(m_1 g - \frac{M}{2r}\right)h.$$

Скорость груза на высоте h: $V_1 = 4\sqrt{\frac{\left(m_1 g - \frac{M}{2r}\right)h}{8m_1 + 4m_2 + 3m_3}}$.

5.4

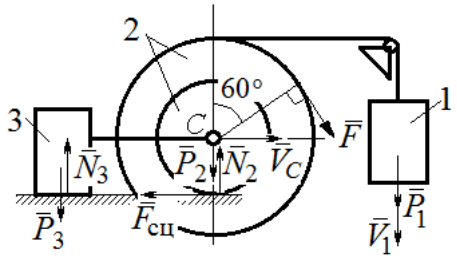


Рис. 7.36. Расчётная схема к упражнению 5.4

Для решения задачи используется теорема об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме: $\frac{dT}{dt} = \sum N(\vec{F}_k^e)$, где T – энергия системы в её текущем положении; $\sum N(\vec{F}_k^e)$ – суммарная мощность внешних сил.

Допустим, груз 1 движется вниз со скоростью V_1. Скорость центра масс катка V_C.

Кинетическая энергия катка 2: $T_2 = \frac{1}{2}m_2 V_C^2 + \frac{1}{2}J_{zC}\omega_2^2$. Здесь $m_2 = \frac{2P}{g}$, $J_{zC} = m_2 i_z^2$, $\omega_2 = \frac{V_C}{r}$. В результате кинетическая энергия катка $T_2 = \frac{3P}{g}V_C^2$.

Скорость груза 3 $V_3 = V_C$. Кинетическая энергия груза 3 $T_3 = \frac{P}{g}V_C^2$.

Скорость груза 1 $V_1 = \omega_2 3r = 3V_C$. Кинетическая энергия груза 1: $T_1 = \frac{9P}{2g}V_C^2$.

Суммарная кинетическая энергия (энергия системы): $T = T_1 + T_2 + T_3 = \frac{17P}{2g}V_C^2$. Производная $\frac{dT}{dt} = \frac{17P}{g}V_C\frac{dV_C}{dt} = \frac{17}{g}V_C a_C$.

Мощности сил $\vec{P}_2$, $\vec{N}_2$, $\vec{F}_{сц}$, $\vec{P}_3$, $\vec{N}_3$ равны нулю.

Мощность силы $\vec{F}$, приложенной к колесу, определяется по формуле: $N(\vec{F}) = \vec{F}\cdot\vec{V}_C + \vec{M}_C(\vec{F})\cdot\vec{\omega}_2 = FV_C\cos 60° + FR\omega_2$. Мощность силы $\vec{P}_1$ $N(\vec{P}_1) = P_1V_1$. Суммарная мощность внешних сил: $\sum N(F^e) = 7PV_C$.

Составляем уравнение теоремы об изменении кинетической энергии системы: $\frac{17P}{g}V_C a_C = 7PV_C$, откуда $a_C = \frac{7}{17}g$ м/с^2.

5.5

Рассмотрим движение катков отдельно, заменив невесомый стержень реакцией. Предположим, катки движутся направо (см. рис. 7.37). Уравнения движения катков:

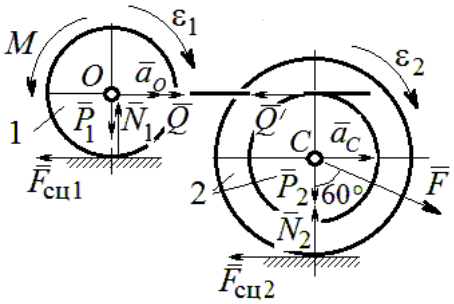


Рис. 7.37. Расчётная схема к упражнению 5.5

$$m_1 a_O = Q - F_{сц1},\ J_{1O}\varepsilon_1 = F_{сц1}r - M;$$

$$m_2 a_C = -Q' - F_{сц2} + F\cos 30°;$$

$$J_{2C}\varepsilon_2 = F_{сц2}3r - Q'r.$$

Здесь $\vec{Q}$ – реакция невесомого стержня, $|\vec{Q}| = |\vec{Q}'|$; $\vec{F}_{сц1}$, $\vec{F}_{сц2}$ – силы сцепления катков с поверхностями качения; моменты инерции катков $J_{1O} = \frac{m_1 r^2}{2}$, $J_{2C} = m_2 i_2^2$. Подставляя кинематические соотношения $\varepsilon_2 = \frac{a_C}{3r}$; $a_O = \frac{4}{3}a_C$; $\varepsilon_1 = \frac{4a_C}{3r}$, с учётом данных задачи, получим систему уравнений:

$$\frac{4P}{3g}a_C = Q - F_{сц1};\ \ \frac{2P}{3g}a_C = F_{сц1} - 4P;$$

$$\frac{2P}{g}a_C = -Q - F_{сц2} + P\sqrt{3};\ \ \frac{4P}{3g}a_C = 3F_{сц2} - Q.$$

Находим ускорение центра катка 2: $a_C = \dfrac{3\left(3\sqrt{3}-16\right)g}{46} \approx -\,0{,}7g$. Каток движется в противоположную сторону. Реакция стержня $Q = 2{,}6P$.

5.6

Выделяем звенья механизма, заменяя действия нитей их реакциями. Допустим, направления движений тел в системе соответствуют подъёму груза 1.

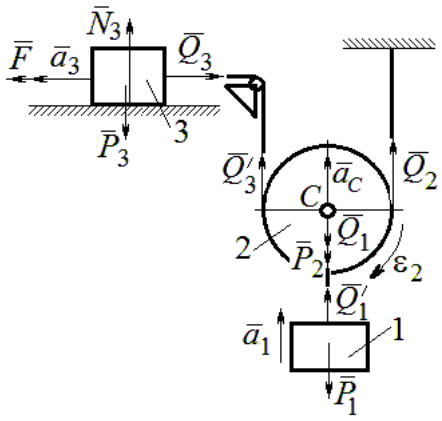


Рис. 7.38. Расчётная схема к упражнению 5.6

Уравнения движения тел:

$$m_3a_3 = F - Q_3,\ m_2a_C = Q'_3 + Q_2 - P_2 - Q_1;$$

$$J_{2C}\varepsilon_2 = Q'_3r - Q_2r,\ m_1a_1 = Q'_1 - P_1.$$

С учётом, что $\left|\vec{Q}_3\right| = \left|\vec{Q}'_3\right|$, $\left|\vec{Q}_1\right| = \left|\vec{Q}'_1\right|$ и

$$a_C = a_1,\quad a_3 = 2a_1,\quad \varepsilon_2 = \frac{a_1}{r},\quad J_{2C} = \frac{m_2r^2}{2},$$

подставляя данные задачи, получим систему уравнений:

$$2ma_1 = 2{,}5mg - Q_3;\ \ ma_1 = Q_3 + Q_2 - mg - Q_1;$$

$$\frac{ma_1}{2} = Q_3 - Q_2;\ m_1a_1 = Q_1 - P_1.$$

Решая систему, находим: $a_1 = \dfrac{2}{17}g \approx 0{,}12g;\ \ Q_3 = 2{,}26mg;\ Q_2 = 2{,}15mg$.

5.7

Заменяем действия нитей реакциями. Предположим, груз 1 спускается по наклонной плоскости. Уравнения движения тел:

$$m_1a_1 = P_1\cos 30° - Q_1;\ \ m_3a_3 = Q_3;$$

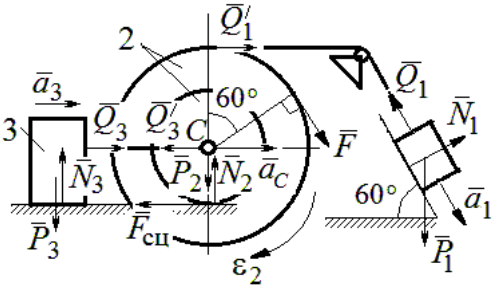


Рис. 7.39. Расчётная схема к упражнению 5.7

$$m_2 a_C = Q_1' - Q_3' - F_{\text{сц}} + F\cos 60^\circ;\ J_{2C}\varepsilon_2 = Q_1' R + FR + F_{\text{сц}} r,\ J_{2C} = m_2 i_2^2.$$

Соотношения ускорений: $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{R+r}$, $a_C = \dfrac{a_1 r}{R+r}$, $a_3 = a_C$. Подставляя данные задачи, с учётом, что модули сил $Q_1' = Q_1$ и $Q_3' = Q_3$, получим систему уравнений:

$$ma_1 = mg\frac{\sqrt{3}}{2} - Q_1;\ \frac{2}{3}ma_1 = Q_3;$$

$$ma_1 = Q_1 - Q_3 - F_{\text{сц}} + \frac{1}{2}mg;\ 3ma_1 = 2Q_1 + 2mg + F_{\text{сц}}.$$

Находим $a_1 = \dfrac{3}{46}\left(5+3\sqrt{3}\right)g \approx 0{,}44g;\ Q_1 = 0{,}21mg;\ Q_3 = 0{,}44mg$.

7.6. Ответы к упражнениям главы 6

6.1

Внешние силы, действующие на систему: силы тяжести – $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и реакции опор $\vec{N}_3$, $\vec{R}_3$ Приложим к телам системы, силы инерции $\vec{R}_1^{\text{ин}}$, $\vec{R}_2^{\text{ин}}$ (рис. 7.40, *a*). В соответствии с принципом Даламбера, полученная система сил находится в равновесии. Составляем условие равновесия системы сил в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси:

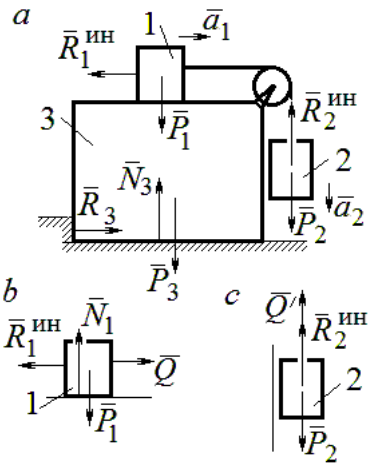


Рис. 7.40. Расчётная схема к упражнению 6.1

$$R_3 - R_1^{\text{ин}} = 0,\ N_3 - P_3 - P_1 - P_2 + R_2^{\text{ин}} = 0.$$

Для вычисления сил инерции рассмотрим отдельно грузы 1 и 2, заменяя действие соединяющей их нити реакцией (рис. 7.40, *b*, *c*). Присоединим к грузам силы инерции и, применив принцип Даламбера, составим уравнения равновесия систем сил - для груза 1 в проекции на горизонтальную ось, для груза 2 – на вертикальную:

$$Q - R_1^{\text{ин}} = 0;\ P_2 - Q' - R_2^{\text{ин}} = 0,$$

где $R_1^{ин} = m_1 a_1$, $R_2^{ин} = m_2 a_2$.

Решая полученную систему с учётом равенства модулей сил $Q = Q'$ и ускорений грузов $a_1 = a_2$, находим ускорение грузов: $a_1 = a_2 = 0{,}5g$. Тогда давление призмы на горизонтальную поверхность: $N_3 = 2{,}5mg$.

6.2

Активными силами в системе являются силы $\vec{F}$ и $\vec{Q}$. Для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия: $\delta A(\vec{F}) + \delta A(\vec{Q}) = 0$ или $F\delta s_F - Q\delta s_Q = 0$, где δs_F и δs_Q – возможные перемещения точек приложения сил $\vec{F}$ и $\vec{Q}$.

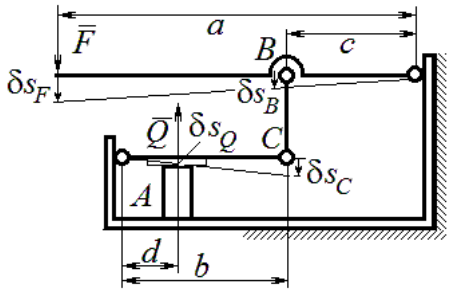


Рис. 7.41. Расчётная схема к упражнению 6.2

Имеем соотношения: $\dfrac{\delta s_F}{\delta s_B} = \dfrac{a}{c}$, $\dfrac{\delta s_C}{\delta s_Q} = \dfrac{b}{d}$, где δs_B и δs_C – возможные перемещения точек B и C, причём $\delta s_B = \delta s_C$. Тогда $\delta s_Q = \dfrac{cd}{ab}\delta s_F$ и сила, сжимающая деталь A под прессом, равна $Q = \dfrac{ab}{cd}F$.

6.3

Активными силами, совершающими работу при движении системы, являются силы тяжести $\vec{P}_3$, $\vec{P}_4$ и пары сил с моментами M_1 и M_2. Связи идеальные.

Для равновесия системы необходимо и достаточно выполнения условия:

$$\delta A(\vec{P}_3) + \delta A(\vec{P}_4) + \delta A(M_1) + \delta A(M_2) = 0 \text{ или}$$

$$P_3\delta s_3 - P_4\delta s_4 + M_1\delta\varphi_1 - M_2\delta\varphi_2 = 0,$$

где $\delta s_3, \delta s_4$ – элементарные перемещения грузов 3, 4; $\delta\varphi_1, \delta\varphi_2$ – элементарные повороты валов 1 и 2. Выразим все перемещения через угол поворота

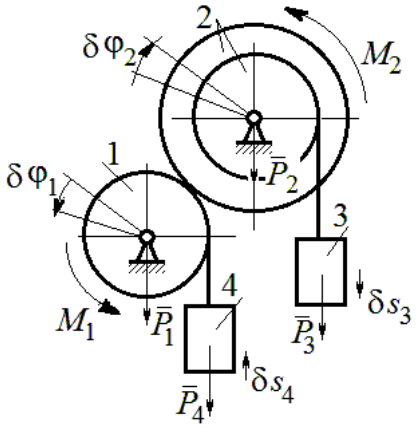


Рис. 7.42. Расчётная схема к упражнению 6.3

вала 2: $\delta s_3 = \delta\varphi_2 r$, $\delta\varphi_1 = 3\delta\varphi_2$, $\delta s_4 = 3r\delta\varphi_2$ и подставим в уравнение равновесия. Получим: $M_2 = 4Pr$.

6.4

Система с идеальными связями. Активными силами являются силы тяжести $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$ и пара сил с моментом $M_{\text{вр}}$ (рис. 7.43).

Направления поворотов дисков и их угловые ускорения показаны на рис. 7.43 дуговыми стрелками $\delta\varphi_1, \varepsilon_1$ и $\delta\varphi_2, \varepsilon_2$. Направления движения центра масс катка 2, груза 3 и их ускорения обозначены: $\delta s_C, a_C$ и $\delta s_3, a_3$.

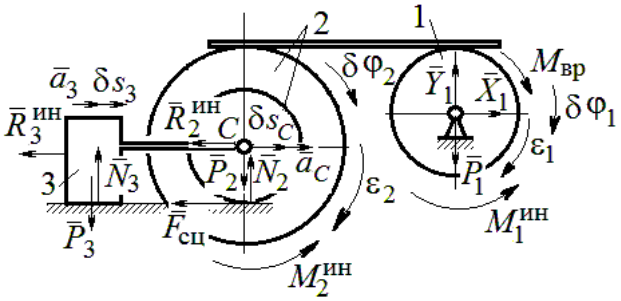


Рис. 7.43. Расчётная схема к упражнению 6.4

Кинематические соотношения между перемещениями и ускорениями: $\delta s_C = \delta s_3$, $a_C = a_3$, $\delta\varphi_2 = \dfrac{\delta s_3}{r}$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_3}{r}$, $\delta\varphi_1 = \dfrac{3\delta s_3}{r}$, $\varepsilon_1 = \dfrac{3a_3}{r}$.

Присоединим к телам системы силы инерции.

Модули главных векторов сил инерции: $R_3^{\text{ин}} = m_3 a_3 = ma_3$; $R_2^{\text{ин}} = m_2 a_C = 2ma_3$; $M_2^{\text{ин}} = m_2 i_2^2 \varepsilon_2 = 4{,}5mra_3$; $M_1^{\text{ин}} = \dfrac{m_1 R_1^2}{2}\varepsilon_1 = 1{,}5mra_3$.

Элементарные работы активных сил:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = M_{\text{вр}}\delta\varphi_1 = (mg\sin\omega t)3\delta s_3.$$

Элементарные работы сил инерции:

$$\sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = -R_3^{\text{ин}}\delta s_3 - R_2^{\text{ин}}\delta s_C - M_2^{\text{ин}}\delta\varphi_2 - M_1^{\text{ин}}\delta\varphi_1 =$$

$$= -ma_3\delta s_3 - 2ma_3\delta s_3 - 4{,}5ma_3\delta s_3 - 1{,}5ma_3 3\delta s_3 = -12ma_3\delta s_3.$$

Общее уравнение динамики имеет вид:

$$\sum \delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum \delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = m(3g\sin\omega t - 12a_3)\delta s_3 = 0.$$

Ускорение груза 3: $a_3 = 0{,}25g\sin\omega t$, или $\ddot{s}_3 = 0{,}25g\sin\omega t$. Интегрируя дифференциальное уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон движения груза: $s_3 = \dfrac{0{,}25g}{\omega}\left(t - \dfrac{1}{\omega}\sin\omega t\right)$.

6.5

Система с идеальными связями. Активные силы и главные вектора сил инерции показаны на рис. 7.44.

Элементарные работы активных сил: $\sum\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) = F\delta s_1 + P_3\delta s_3 - P_4\delta s_4$ и сил инерции $\sum\delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = -R_1^{\text{ин}}\delta s_1 - R_3^{\text{ин}}\delta s_3 - R_4^{\text{ин}}\delta s_4 - M_2^{\text{ин}}\delta\varphi_2$, где модули сил инерции: $R_1^{\text{ин}} = \dfrac{P_1}{g}a_1$, $R_3^{\text{ин}} = \dfrac{P_3}{g}a_3$, $R_4^{\text{ин}} = \dfrac{P_1}{g}a_4$, $M_2^{\text{ин}} = \dfrac{P_2}{g}i_2^2\varepsilon_2$.

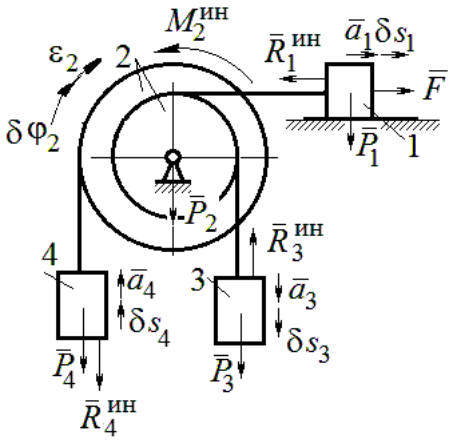


Рис. 7.44. Расчётная схема к упражнению 6.5

Кинематические соотношения: $\delta s_3 = \delta s_1$, $a_3 = a_1$, $\delta s_4 = 2\delta s_1$, $a_4 = 2a_1$, $\delta\varphi_2 = \dfrac{\delta s_1}{r}$, $\varepsilon_2 = \dfrac{a_1}{r}$.

Общее уравнение динамики:

$$\sum\delta A(\vec{F}_k^{\text{акт}}) + \sum\delta A(\vec{R}_k^{\text{ин}}) = P(t+1)\delta s_1 + P\delta s_1 - 2P\delta s_1 -$$

$$-\left(\frac{P}{g}a_1\delta s_1 + \frac{P}{g}a_1\delta s_1 + \frac{2P}{g}2a_1 2\delta s_1 + \frac{2P}{g}2r^2\frac{a_1}{r}\frac{\delta s_1}{r}\right) = P\left(t - \frac{14a_1}{g}\right)\delta s_1 = 0.$$

Находим уравнение движения груза 3: $a_3 = a_1 = \dfrac{1}{14}gt$, или $\ddot{x}_3 = \dfrac{1}{14}gt$.

Проинтегрировав дифференциальное уравнение с нулевыми начальными условиями, получим закон движения груза 3: $x_3 = \dfrac{1}{84}gt^3 \approx 0{,}012gt^3$.

6.6

Рассматриваемая механическая система (рис. 7.45) имеет одну степень свободы. Уравнение Лагранжа: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right)-\frac{\partial T}{\partial x}=Q_x$, где T – кинетическая энергия системы: Q_x – обобщенная сила.

В качестве обобщённой координаты x выберем положение точки C относительно недеформированной пружины, отмеченной на рис. 7.45 величиной l_0. Обобщённая скорость $\dot{x}$.

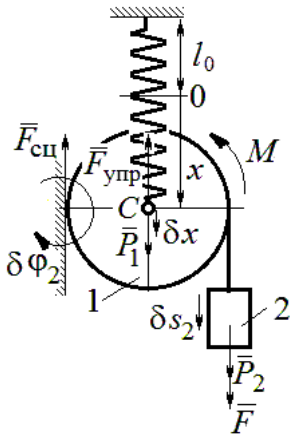


Рис. 7.45. Расчётная схема к упражнению 6.6

Кинетическая энергия катка: $T_1=\frac{1}{2}m_1V_C^2+\frac{1}{2}J_{zC}\omega_1^2$, где ω_1, V_C – угловая скорость катка и скорость его центра масс, $V_C=\dot{x}$, $\omega_1=\frac{V_C}{r}=\frac{\dot{x}}{r}$; момент инерции $J_{zC}=\frac{1}{2}m_1r^2$. Кинетическая энергия груза 2: $T_2=\frac{1}{2}m_2V_2^2$, где V_2 – скорость груза 2, $V_2=2V_C=2\dot{x}$. Кинетическая энергия системы, выраженная через обобщённую скорость: $T=T_1+T_2=\frac{7P}{2g}\dot{x}^2$.

В произвольном положении системы, определяемом координатой x, дадим центру масс катка возможное перемещение δx (см. рис. 7.45). Элементарная работа активных сил $\sum\delta A(F_{\text{к}})=P_1\delta x-F_{\text{упр}}\delta x+(P_2+F)\delta s_2-M\delta\varphi_1$. Полагая перемещения $\delta s_2=2\delta x$, $\delta\varphi_1=\frac{\delta x}{r}$, модуль силы упругости $F_{\text{упр}}=cx$ и с учётом данных задачи, получим $\sum\delta A(F_{\text{к}})=(3P-cx)\delta x$. Обобщённая сила $Q_x=3P-cx$.

Уравнение Лагранжа $\frac{7P}{g}\ddot{x}=3P-cx$, или $\ddot{x}+\frac{4g}{7r}x=\frac{3g}{7}$.

Решение уравнения (с нулевыми начальными условиями): $x = \frac{3}{4} r(1 - \cos\omega t)$. Закон движения груза: $s_2 = 2x = \frac{3}{2} r(1 - \cos\omega t)$.

6.7

Рассматриваемая система имеет две степени свободы. Обобщённые координаты – расстояния x_1, x_2 соответственно до грузов 1 и 2, отсчитываемые от неподвижных центров блоков *B* и *D* (рис. 7.46, *a*). Обобщённые скорости $\dot{x}_1$, $\dot{x}_2$. Кинетическая энергия грузов и блока 3:

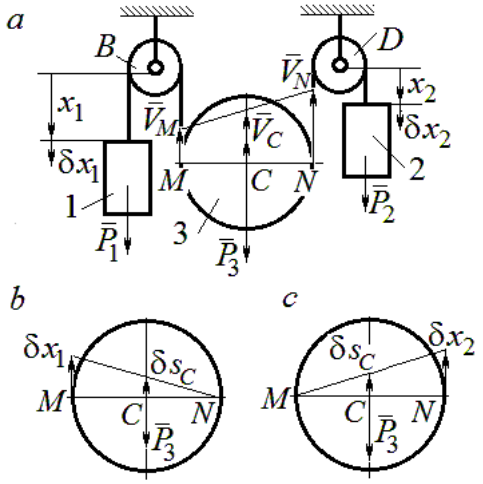


Рис. 7.46. Расчётная схема к упражнению 6.7:
a – кинематика механизма;
b, *c* – возможные перемещения блока 3 при вычислении обобщённых сил

$$T_1 = \frac{P_1 \dot{x}_1^2}{2g},\ T_2 = \frac{P_2 \dot{x}_2^2}{2g};$$

$$T_3 = \frac{P_3}{2g}\left(\frac{\dot{x}_1 + \dot{x}_2}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}\frac{P_3 r^2}{2g}\left(\frac{\dot{x}_2 - \dot{x}_1}{2r}\right)^2.$$

Здесь учтено (см. рис. 7.46, *a*): что

$$V_C = \frac{V_N + V_M}{2} = \frac{\dot{x}_2 + \dot{x}_1}{2};$$

$$\omega_2 = \frac{V_N - V_M}{2r} = \frac{\dot{x}_2 - \dot{x}_1}{2r}.$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_1, оставляя координату x_2 постоянной: $\delta x_1 \neq 0$, $\delta x_2 = 0$. На этом перемещении сумма элементарных работ внешних сил (см. рис. 7.46, *a*, *b*):

$$\sum \delta A(F_к) = P_1 \delta x_1 - P_3 \delta s_C = \left(P_1 - \frac{1}{2} P_3\right)\delta x_1.$$

Обобщённая сила $Q_{x_1} = P_1 - \frac{1}{2} P_3$.

Дадим системе другое независимое возможное перемещение – по координате x_2, так, что $\delta x_1 = 0$, $\delta x_2 \neq 0$. При этом перемещении сумма элементарных работ внешних сил (см. рис. 7.46, *a*, *c*):

$$\sum \delta A(F_к) = P_2 \delta x_2 - P_3 \delta s_C = \left(P_2 - \frac{1}{2} P_3\right)\delta x_2.$$

Обобщённая сила $Q_{x_2} = P_2 - \frac{1}{2}P_3$.

Уравнения Лагранжа

$$\left(P_1 + \frac{3}{8}P_3\right)\frac{\ddot{x}_1}{g} + \frac{1}{8}P_3\frac{\ddot{x}_2}{g} = P_1 - \frac{1}{2}P_3,\ \ \frac{1}{8}P_3\frac{\ddot{x}_1}{g} + \left(P_2 + \frac{3}{8}P_3\right)\frac{\ddot{x}_2}{g} = P_2 - \frac{1}{2}P_3 \text{ или}$$

$$7\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 = 0,\ \ddot{x}_1 + 9\ddot{x}_2 = 2g.$$

Ускорения грузов: $\ddot{x}_1 = -\frac{1}{31}g$, $\ddot{x}_2 = \frac{7}{31}g$. Ускорение центра масс блока $\ddot{x}_C = \frac{\ddot{x}_2 + \ddot{x}_1}{2} = \frac{6}{31}g$. Груз 1 и центр блока 3 движутся вверх, груз 2 – вниз. (Сравнить с задачей 70.)

6.8

Система с двумя степенями свободы. Обобщённые координаты: x_1 – положение центра масс катка 1 (точки C_1) относительно неподвижной вертикальной стены; x_2 – положение центра масс катка 2 (точки C_2) относительно подвижного края платформы.

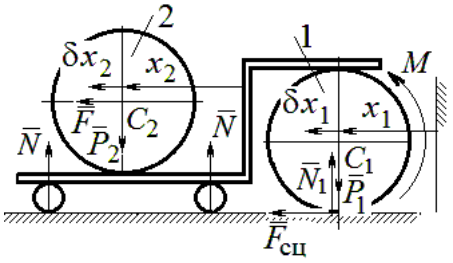


Рис. 7.47. Расчётная схема к упражнению 6.8

Кинетическая энергия системы

$$T = \frac{3}{4}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}\left[m_2\left(\dot{x}_2 + 2\dot{x}_1\right)^2 + \frac{m_2 r^2}{2}\left(\frac{\dot{x}_2}{r}\right)^2\right] = \frac{P}{g}\left(\frac{11}{4}\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2 + 2\dot{x}_1\dot{x}_2\right).$$

Дадим системе возможное перемещение по координате x_1 $\left(\delta x_1 \neq 0\right)$, оставляя другую координату x_2 неизменной $\left(\delta x_2 = 0\right)$. Работу совершают момент M и сила $\overline{F}$. Суммарная работа

$$\sum \delta A(F_к) = M\delta\varphi_1 + F\delta s_{C_2} = M\frac{\delta x_1}{r} + F\,2\delta x_1 = 4P\delta x_1.$$

Обобщённая сила $Q_{x_1} = 4P$.

При другом независимом возможном перемещении $\delta x_1 = 0$, $\delta x_2 \neq 0$ суммарная работа внешних сил $\sum \delta A(F_к) = F\delta x_2$ и обобщённая сила, соответствующая координате x_2, равна $Q_{x_2} = P$.

Уравнения Лагранжа

$$\frac{P}{g}\left(\frac{11}{2}\ddot{x}_1 + 2\ddot{x}_2\right) = 4P,\ \frac{P}{g}\left(2\ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_1\right) = P, \text{ или}$$

$$11\ddot{x}_1 + 4\ddot{x}_2 = 8g,\ 2\ddot{x}_2 + 2\ddot{x}_1 = g$$

Ускорение центра катка 1 $\ddot{x}_1 = \frac{6}{7}g$. Тележка катится в направлении оси x_1. Ускорение центра катка 2 относительно тележки $\ddot{x}_2 = -\frac{5}{14}g$. Закон относительного движения центра катка 2 при нулевых начальных условиях: $x_2 = -\frac{5}{28}gt^2$. Каток катится к правому борту тележки.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Бать М. И., *Джанелидзе Г. Ю.*, *Кельзон А. С.* Теоретическая механика в примерах и задачах: Т. 1–2.– СПб.: Лань, 2010.

Бутенин Н. В., *Лунц Я. Л.*, *Меркин Д. Р.* Курс теоретической механики: В 2-х томах.– М.: Наука, 2009.

Вебер Г. Э., *Ляпцев, С. А*. Лекции по теоретической механике. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008.

Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов. – М.: Высшая школа, 2010.

Учебное издание

Валерий Григорьевич Брагин
Евгений Борисович Волков
Юрий Михайлович Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебное пособие

Редактор *Л.В. Устьянцева*

Компьютерная версия

Подписано в печать 26.10.2018 г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 15,625. Уч. изд. л. 10,5. Тираж экз. Заказ №
Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СТАТИКА..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1. Основные понятия статики..... **Error! Bookmark not defined.**
1.2. Система сходящихся сил. Условия равновесия**Error! Bookmark not defined.**
1.3. Произвольная плоская система сил..... **Error! Bookmark not defined.**
1.4. Равновесие систем тел ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.5. Произвольная пространственная система сил**Error! Bookmark not defined.**
1.6. Равновесие тел при наличии сил трения..... **Error! Bookmark not defined.**
2. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ И ТВЁРДОГО ТЕЛА..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1. Криволинейное движение точки ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.2. Поступательное движение и вращение твердого тела .**Error! Bookmark not defined.**
вокруг неподвижной оси ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.3. Скорости точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела ....**Error! Bookmark not defined.**
2.4. Ускорения точек при плоскопараллельном движении твёрдого тела ..**Error! Bookmark not defined.**
3. СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1. Основные понятия и определения сложного движения точки .....**Error! Bookmark not defined.**
4. ДИНАМИКА ТОЧКИ ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1. Дифференциальные уравнения движения точки.....**Error! Bookmark not defined.**
4.2. Колебания материальной точки ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.3. Теорема об изменении кинетической энергии точки ..**Error! Bookmark not defined.**
5. ОБЩИЕ ТЕОРЕМЫ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.1. Теорема о движении центра масс системы... **Error! Bookmark not defined.**
5.2. Теорема об изменении кинетического момента системы
относительно оси ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.3. Теорема об изменении кинетической энергии системы**Error! Bookmark not defined.**
5.4. Применение общих теорем динамики системы к описанию
движений твёрдого тела ..... **Error! Bookmark not defined.**
6. ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.1. Принцип Даламбера для системы ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.2. Принцип возможных перемещений ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.3. Общее уравнение динамики ..... **Error! Bookmark not defined.**
6.4. Уравнения Лагранжа II рода..... **Error! Bookmark not defined.**
7. ОТВЕТЫ И КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ .....**Error! Bookmark not defined.**
7.1. Ответы к упражнениям главы 1 .....**Error! Bookmark not defined.**
7.2. Ответы к упражнениям главы 2 .....**Error! Bookmark not defined.**
7.3. Ответы к упражнениям главы 3 .....**Error! Bookmark not defined.**
7.4. Ответы к упражнениям главы 4 .....**Error! Bookmark not defined.**
7.5. Ответы к упражнениям главы 5 .....**Error! Bookmark not defined.**
7.6. Ответы к упражнениям главы 6 .....**Error! Bookmark not defined.**

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**Error! Bookmark not defined.**



Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

В. Г. Брагин, Е. Б. Волков, Ю. М. Казаков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебное пособие

Екатеринбург
2018

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие
и контрольные задания для выполнения РГР и самостоятельной работы студентов специальности
21.05.04 Горное дело

Екатеринбург
2019

А 94
Рецензент: *Н.М.Суслов*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой ГМК
Уральского государственного горного университета

Учебно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры технической механики 04 апреля 2019г. (протокол № 7) и рекомендовано для издания в УГГУ

А. А. Чиркова, А. П. Золкин, Д. Н. Суслов, А. И. Афанасьев
СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ: учебно-методическое пособие и контрольные задания для выполнения РГР и самостоятельной работы студентов специальности *21.05.04 Горное дело*.– Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – 84 с.

Учебно-методическое пособие содержит краткие методические указания, контрольные задания и примеры выполнения заданий по темам: «Осевое нагружение стержней переменного сечения. Определение деформаций при осевом нагружении», «Расчет вала на прочность при кручении. Определение углов закручивания вала – расчет на жесткость», «Расчет на прочность балки при изгибе. Подбор сечения балки», «Расчет на жесткость балки при изгибе. Определение формы изогнутой оси балки», «Расчет стержней на устойчивость», «Расчет статически неопределимых балок», «Расчет статически неопределимых рам».

© Чиркова А. А., Золкин А. П.,
Суслов Д.Н.,Афанасьев А. И. 2019
© Уральский государственный
горный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задача №1. Осевое нагружение стержней 4
Задача №2. Расчёт вала на кручение и жёсткость….....11
Задача №3. Расчёт балки на прочность при изгибе 17
Задача №4. Расчёт балки на жёсткость 23
Задача №5. Геометрические характеристики плоского симметричного сечения……..……30
Задача № 6. Расчёт статически неопределемых стержневых систем. ……36
Задача 7.Расчет статически неопределимых балок ……..……...43
Задача №8. Расчет стержней на устойчивость……..67
Задача №9. Расчет статически неопределимых рам……..……...70
Оформление расчетно-графической работы.....84
Список рекомендуемой литературы 84

Задача № 1. Осевое нагружение стержней

Для стального стержня из условия прочности подобрать площади поперечных сечений при условии, что отношение площади большего участка к меньшему равно $k = S_m/S_x$. Построить эпюры: осевой силы N; нормальных напряжений σ и продольных перемещений Δ. Модуль упругости стали $E = 200000$ МПа. Предел текучести стали σ_m. Коэффициент запаса прочности по пределу текучести – n_m. Исходные данные сведены в табл. 1, расчетные схемы даны на рис. 1.

Таблица 1

Исходные данные к задаче № 1

№ п/п	Сила, кН				Длина участка, м				$\sigma_т$, МПа	$n_т$	$k = S_m/S_x$	Номер схемы
	P_1	P_2	P_3	P_4	L_1	L_2	L_3	L_4				
1	150	660	440	990	2,0	1,4	1,3	2,3	200	1,5	1,5	1
2	620	700	920	130	3,1	2,2	1,5	1,9	240	2,0	2,0	2
3	600	880	170	200	2,4	3,0	2,3	1,6	280	2,5	2,5	3
4	80	130	600	610	1,6	2,9	1,7	2,4	320	3,0	3,0	4
5	990	380	630	390	2,8	1,8	2,5	1,7	360	1,5	3,5	5
6	290	570	170	900	1,9	2,6	2,7	1,3	400	2,0	1,5	6
7	920	630	160	740	2,7	2,0	2,6	1,4	440	2,5	2,0	7
8	840	500	490	550	1,5	2,8	2,1	2,5	480	3,0	2,5	8
9	990	110	90	470	1,6	2,4	2,9	2,2	520	1,5	3,0	9
10	340	390	890	330	1,7	2,3	2,3	3,0	560	2,0	3,5	10
11	820	290	800	90	2,2	2,4	3,1	1,8	600	2,5	1,5	11
12	380	720	720	850	2,5	3,2	2,1	1,9	200	3,0	2,0	12
13	960	630	580	800	3,3	2,6	2,0	1,3	240	1,5	2,5	13
14	360	940	300	530	1,4	1,4	2,7	1,9	280	2,0	3,0	14
15	70	590	790	800	1,5	1,8	1,5	2,8	320	2,5	3,5	15
16	460	510	960	840	1,6	1,7	2,9	1,6	360	3,0	1,5	16
17	680	630	740	680	1,6	3,0	1,7	1,7	400	1,5	2,0	17
18	670	880	30	270	3,1	1,8	1,5	1,8	440	2,0	2,5	18
19	380	200	760	370	1,9	3,2	1,4	1,9	480	2,5	3,0	19
20	770	510	830	260	2,0	2,0	3,3	1,3	520	3,0	3,5	20
21	760	750	160	190	2,2	3,3	2,1	1,4	560	1,5	1,5	21
22	320	840	670	440	2,2	3,2	1,5	2,2	600	2,0	2,0	22
23	390	720	270	960	2,3	1,6	2,3	3,1	200	2,5	2,5	23
24	910	310	870	470	1,7	2,4	3,0	2,4	240	3,0	3,0	24
25	840	540	380	810	2,5	1,8	2,9	2,5	280	1,5	3,5	25
26	160	350	720	470	2,5	2,6	1,9	2,8	320	2,0	1,5	26
27	660	660	800	510	2,6	2,7	2,7	2,0	360	2,5	2,0	1
28	450	410	540	420	1,5	2,4	3,6	1,8	400	1,5	1,5	1
29	430	510	840	350	1,9	2,8	3,5	1,7	440	2,0	2,0	2

Окончание табл. 1

№ п/п	Сила, кН				Длина участка, м				$\sigma_т$, МПа	$n_т$	$k = S_m/S_x$	Номер схемы
	P_1	P_2	P_3	P_4	L_1	L_2	L_3	L_4				
30	520	900	620	820	2,3	2,4	3,0	2,2	480	2,5	2,5	3
31	690	500	790	740	2,7	2,0	2,6	2,6	520	3,0	3,0	4
32	860	240	260	490	3,1	1,6	2,3	2,4	560	1,5	3,5	5
33	990	60	930	580	3,5	2,1	2,7	1,8	600	2,0	1,5	6
34	30	870	740	280	2,9	2,7	1,9	2,3	200	2,5	2,0	7
35	900	610	570	60	2,3	2,1	1,3	1,7	240	3,0	2,5	8
36	360	200	350	470	2,5	1,6	2,9	2,3	280	1,5	3,0	9
37	940	560	980	660	1,8	2,5	1,9	2,0	320	2,0	3,5	10
38	990	620	370	840	2,7	2,4	3,2	1,6	360	2,5	1,5	11
39	650	310	430	890	3,0	1,7	1,8	2,4	400	3,0	2,0	12
40	870	560	80	360	1,6	1,6	2,2	2,2	440	1,5	2,5	13
41	580	280	210	540	2,8	2,1	2,0	3,3	480	2,0	3,0	14
42	720	410	750	290	1,5	2,4	2,7	1,8	520	2,5	3,5	15
43	240	860	590	420	1,9	2,4	2,3	2,6	560	3,0	1,5	16
44	70	570	650	450	2,0	3,1	2,5	1,9	600	1,5	2,0	17
45	160	450	830	680	1,4	2,1	2,3	2,5	200	2,0	2,5	18
46	450	430	400	470	3,2	2,2	2,6	2,1	240	2,5	3,0	19
47	870	440	190	330	3,0	1,4	2,3	2,2	280	3,0	3,5	20
48	370	390	190	740	2,2	1,7	1,8	2,4	320	1,5	1,5	21
49	890	210	920	260	2,2	2,4	2,5	1,6	360	2,0	2,0	22
50	350	820	330	210	2,7	2,3	2,3	2,6	200	2,5	2,5	23
51	710	150	300	570	1,5	2,6	2,4	2,2	240	3,0	3,0	24
52	900	110	730	680	2,4	2,7	2,1	2,5	280	1,5	3,5	25
53	860	630	550	730	2,8	2,0	2,6	2,3	320	2,0	1,5	26
54	520	40	640	600	1,9	2,7	2,9	2,2	360	2,5	2,0	13
55	830	760	920	820	2,8	1,8	3,0	2,1	400	3,0	2,5	14
56	720	730	300	250	2,0	2,9	1,7	3,1	440	1,5	3,0	1
57	120	860	670	500	1,9	3,2	3,0	1,6	480	2,0	3,5	2
58	980	80	940	390	2,8	3,3	1,5	3,1	520	2,5	1,5	3
59	240	60	20	540	2,4	1,4	3,2	2,6	560	3,0	2,0	4
60	820	300	790	130	1,3	3,3	2,5	2,7	600	1,5	2,5	5
61	450	340	220	210	2,7	2,3	2,3	2,6	200	2,5	2,5	23
62	440	360	240	570	1,5	2,6	2,4	2,2	240	3,0	3,0	24
63	470	370	260	680	2,4	2,7	2,1	2,5	280	1,5	3,5	25
64	580	380	270	730	2,8	2,0	2,6	2,3	320	2,0	1,5	26
65	600	390	280	600	1,9	2,7	2,9	2,2	360	2,5	2,0	13
66	670	450	290	820	2,8	1,8	3,0	2,1	400	3,0	2,5	14
67	770	550	300	250	2,0	2,9	1,7	3,1	440	1,5	3,0	1
68	800	570	310	500	1,9	3,2	3,0	1,6	480	2,0	3,5	2
69	870	580	320	390	2,8	3,3	1,5	3,1	520	2,5	1,5	3
70	900	590	330	540	2,4	1,4	3,2	2,6	560	3,0	2,0	4
71	340	600	390	130	1,3	3,3	2,5	2,7	600	1,5	2,5	5

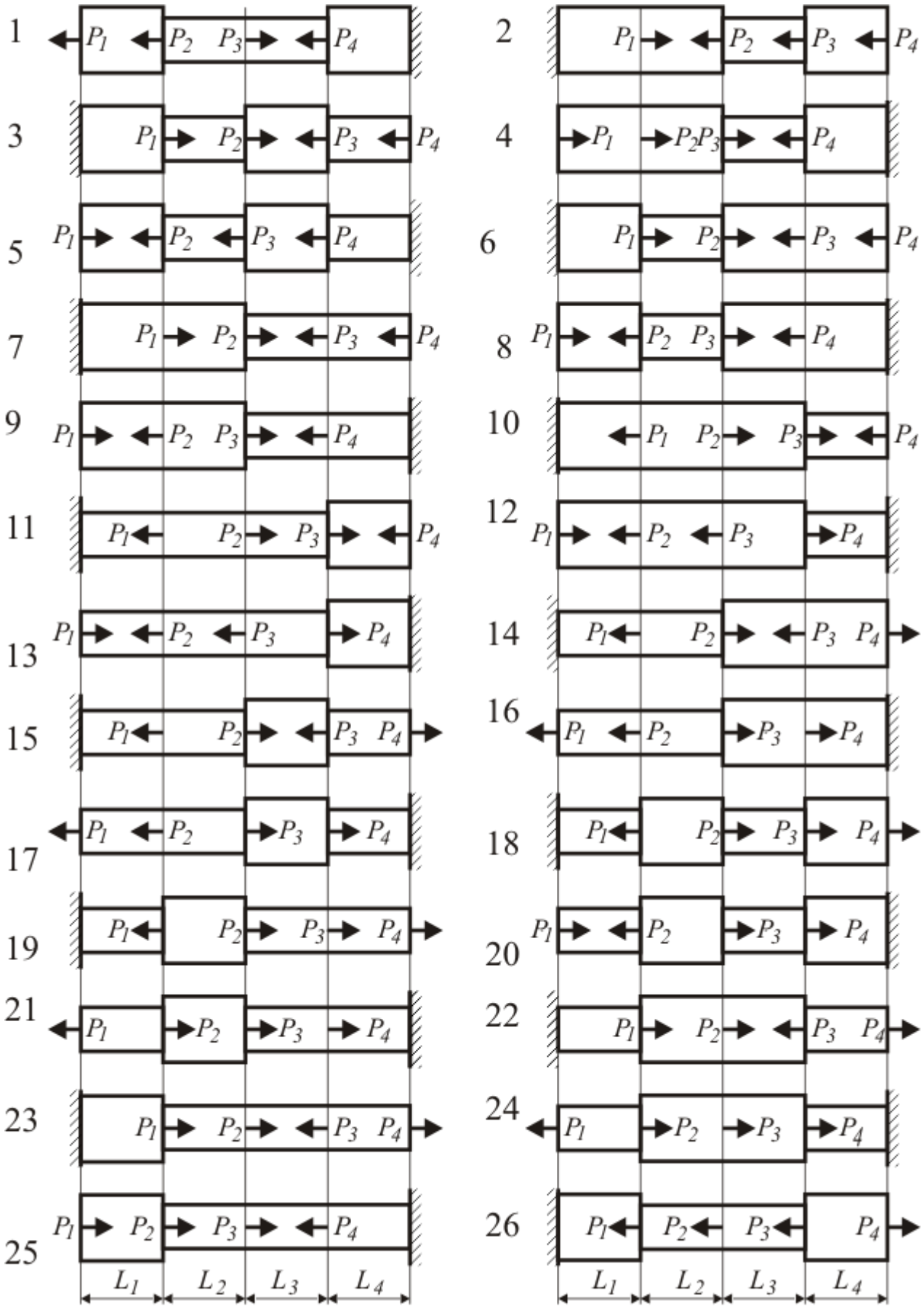


Рис. 1. Расчетная схема стержня

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 1

Стальной стержень нагружен в сечениях 1 – 4 осевыми силами $P_1 = 600$ кН, $P_2 = 900$ кН, $P_3 = 600$ кН, $P_4 = 900$ кН и заделан в сечении 5 (рис. 2, *а*). Длины участков равны: $L_1 = 0{,}75$ м, $L_2 = 1{,}25$ м, $L_3 = 1{,}75$ м, $L_4 = 2{,}25$ м. Выбрать из условия прочности площади поперечных сечений при дополнительном (конструктивно-технологическом) требовании, чтобы отношение площадей толстого и худого участков равнялось $k = S_m/S_x = 2{,}5$. Построить эпюры: осевой силы *N*; нормальных напряжений σ и продольных перемещений Δ. Модуль упругости *E* = 200000 МПа. Предел текучести стали $\sigma_m = 360$ МПа. Коэффициент запаса прочности по пределу текучести $n_m = 1{,}5$.

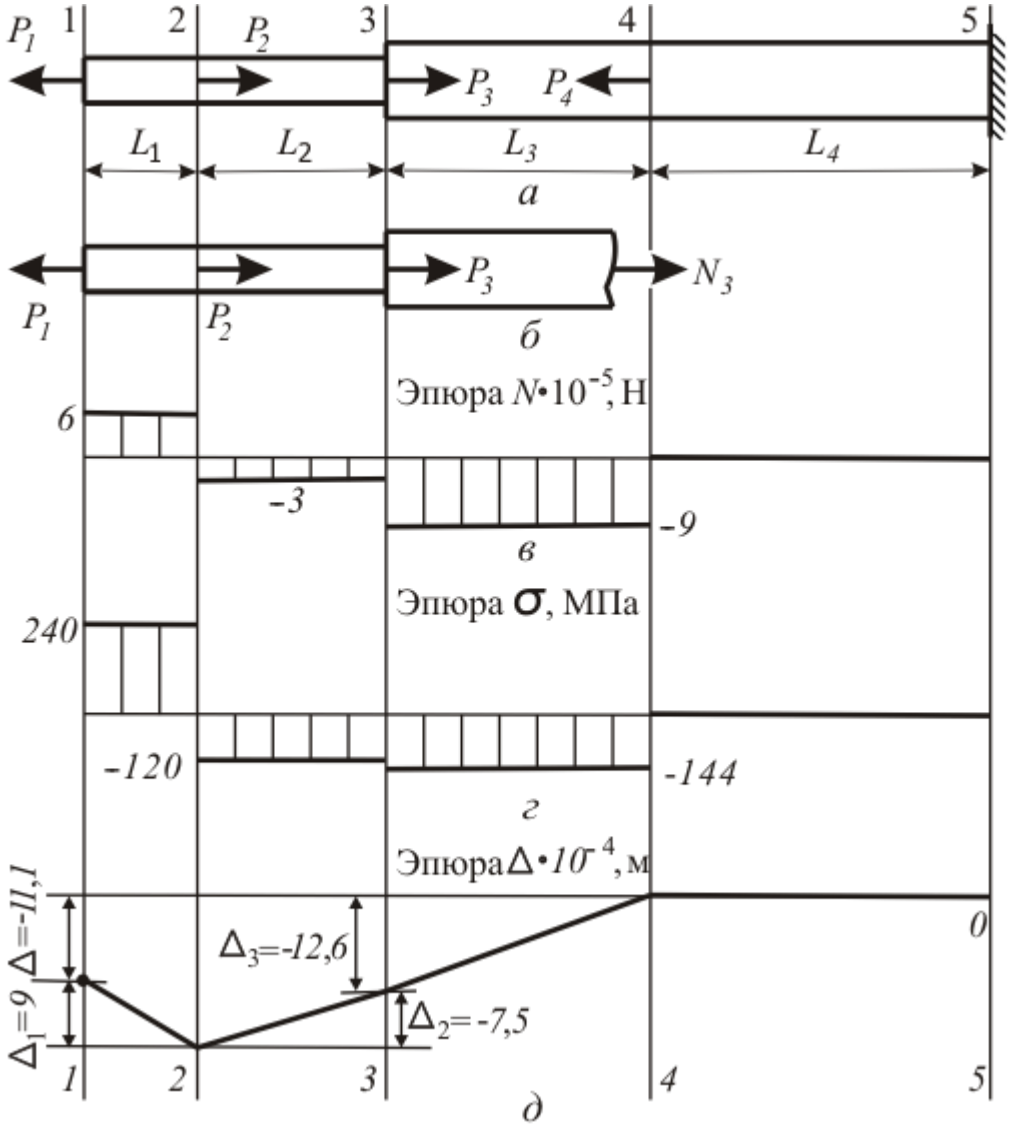


Рис. 2. Эпюры продольных сил, напряжений и перемещений

РЕШЕНИЕ

1. Силы переводим в ньютоны [Н]: $P_1 = 6 \cdot 10^5$; $N_2 = 9 \cdot 10^5$; $N_3 = 6 \cdot 10^5$; $N_4 = 9 \cdot 10^5$.

2. Модуль упругости E и предел текучести σ_m переводим в паскали [Па]:

$$E = 2 \cdot 10^{11}\,; \sigma_m = 3{,}6 \cdot 10^8.$$

3. Допускаемые напряжения [σ]:

$$[\sigma] = \sigma_m / n_m = 3{,}6 \cdot 10^8 / 1{,}5 = \ 2{,}4 \cdot 10^8 \text{ [Па]}.$$

4. Строим эпюру осевых сил методом сечений. Разрезаем стержень на участке i. Из двух полученных кусков выбираем свободный незакреплённый. В нашем случае свободен левый кусок. В разрезанном сечении прикладываем положительную растягивающую осевую силу N_i. Положительная осевая сила направлена наружу из отрезанного куска. Величину N_i находим из условия равенства нулю алгебраической суммы N_i и сил P_i, приложенных к левому куску разрезанного стержня.

Пусть $i = 3$. На левый кусок действуют силы P_1 – P_3 и осевая сила N_3, приложенная в сечении (рис. 2, *б*). Из уравнения равновесия левого куска $N_3 + P_3 + P_2 - P_1 = 0$, находим $N_3 = -P_3 - P_2 + P_1 = -6 \cdot 10^5 - 9 \cdot 10^5 + 6 \cdot 10^5 = -9 \cdot 10^5$ [Н]. Знак «минус» указывает, что сила N_3 направлена внутрь куска (в сторону, обратную изначально выбранной). Участок 3 сжат. Найденное значение осевой силы откладываем на эпюре осевых сил. Для этого: отмечаем на оси абсцисс координату сечения, через неё проводим нормаль, и на нормали откладываем в выбранном масштабе значение $N_3 = -9 \cdot 10^5$ [Н] (рис. 2, *в*). Уравнение равновесия левого куска не зависит от положения сечения, в котором разрезан участок 3. Следовательно, осевая сила сохраняет постоянное значение в любом нормальном сечении участка 3. Через точку с ординатой $N_3 = -9 \cdot 10^5$ между вертикалями 3 и 4 проводим прямую, параллельную оси стержня.

5. Для других участков получаем: $N_1 = 6 \cdot 10^5$ [Н]; $N_2 = -3 \cdot 10^5$ [Н]; $N_3 = -9 \cdot 10^5$ [Н]; $N_4 = 0$ [Н]. Эпюра осевых сил дана на рис. 2, *г*.

6. По эпюре осевых сил находим наибольшие по модулю осевые силы, действующие на толстом и тонком участках

$$N_m = \max\{|N_3|, N_4\} = \max\{|-9 \cdot 10^5|, 0\} = 9 \cdot 10^5 \text{ [Н]},$$
$$N_x = \max\{N_1, |N_2|\} = \max\{6 \cdot 10^5, |-3 \cdot 10^5|\} = 6 \cdot 10^5 \text{ [Н]}.$$

7. Необходимая по условию прочности площадь толстого участка

$$S_{\sigma m} = N_m / [\sigma] = \ 9 \cdot 10^5 / 2{,}4 \cdot 10^8 = 3{,}75 \cdot 10^{-3} \text{ [м}^2\text{]},$$

необходимая по условию прочности площадь тонкого участка

$$S_{\sigma x} = N_x / [\sigma] = \ 6 \cdot 10^5 / 2{,}4 \cdot 10^8 = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ [м}^2\text{]}.$$

8. Выполнить конструктивные требования можно двумя способами:

способ 1: для толстого участка взять площадь $S_{\sigma m}$, необходимую по условию прочности, для тонкого участка взять площадь толстого, уменьшенную в k раз, $S_{kx} = S_{\sigma m}/k = 3{,}75 \cdot 10^{-3}/2{,}5 = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ [м^2];

способ 2: для тонкого участка взять площадь $S_{\sigma x}$, необходимую по условию прочности, для толстого участка взять площадь тонкого, увеличенную в k раз, $S_{km} = k\,S_{\sigma x} = 2{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} = 6{,}25 \cdot 10^{-3}$ [м^2].

В первом случае площадь тонкого участка, взятая из конструктивных требований, меньше площади, необходимой по условию прочности.

$$S_{kx} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} < S_{\sigma x} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}.$$

При первом способе не выполнено условие прочности для тонкого участка. Во втором случае конструктивная площадь толстого участка больше площади, необходимой по условию прочности

$$S_{km} = k\,S_{\sigma x} = 2{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} > S_{\sigma m} = 6{,}25 \cdot 10^{-3}.$$

При втором способе условие прочности выполнено. Назначаем площади

$$S_x = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ [\text{м}^2];\ S_m = 6{,}25 \cdot 10^{-3}\ [\text{м}^2].$$

9. Напряжения, действующие на участке i, определяем по формуле

$$\sigma_i = N_i/S_{x(m)}.$$

где N_i – значение осевой силы на участке i, взятое со своим знаком с эпюры N (рис. 2, *г*) ; $S_{x(m)}$ – назначенная площадь участка.

Пусть $i = 3$, $N_3 = -9 \cdot 10^5$ [Н], $S_m = 6{,}25 \cdot 10^{-3}$ [м^2]. Напряжения равны

$$\sigma_3 = N_3/S_ж = -9 \cdot 10^5/6{,}25^{-3} = -1{,}44 \cdot 10^8\ [\text{Н/м}^2].$$

10. На остальных участках напряжения равны:

$$\sigma_1 = N_1/S_x = 6 \cdot 10^5/(2{,}5 \cdot 10^{-3}) = 2{,}4 \cdot 10^8\ [\text{Н/м}^2];$$
$$\sigma_2 = N_2/S_x = -3 \cdot 10^5/6{,}25^{-3} = -1{,}2 \cdot 10^8\ [\text{Н/м}^2];$$
$$\sigma_4 = N_4/S_ж = 0/6{,}25^{-3} = 0\ [\text{Н/м}^2].$$

Эпюра напряжений построена на рис. 2, *д*.

11. Удлинение Δ_i [м] участка i определяем по формуле

$$\Delta_i = N_i\,L_i/(E\,S_{x(m)}).$$

Получаем:

$$\Delta_1 = N_1\,L_1/(E\,S_x) = 6 \cdot 10^5 \cdot 0{,}75/(2 \cdot 10^{11} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}) = 9{,}00 \cdot 10^{-4};$$
$$\Delta_2 = N_2\,L_2/(E\,S_x) = -3 \cdot 10^5 \cdot 1{,}25/(2 \cdot 10^{11} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}) = -7{,}50 \cdot 10^{-4};$$
$$\Delta_3 = N_3\,L_3/(E\,S_ж) = -9 \cdot 10^5 \cdot 1{,}75/(2 \cdot 10^{11} \cdot 6{,}25 \cdot 10^{-3}) = -1{,}26 \cdot 10^{-3};$$
$$\Delta_4 = N_4\,L_4/(E\,S_ж) = 0 \cdot 1{,}75/(2 \cdot 10^{11} \cdot 6{,}25 \cdot 10^{-3}) = 0.$$

12. Строим эпюру перемещений. Сечение 5, в котором стержень защемлён, неподвижно. Проводим ось стержня Z и отмечаем как 0 точку её пересечения с вертикалью 5. На вертикали 4 следует отложить вверх в принятом масштабе удлинение Δ_4 участка 4. Поскольку $\Delta_4 = 0$, сечение 4 не смещается. Отмечаем точку пересечения оси Z с вертикалью 4. Соединяем

жирной линией нули вертикалей 5 и 4.

Участок 3 сжался на $\Delta_3 = -1{,}26 \cdot 10^{-3}$ м. На вертикали 3 откладываем вниз из точки её пересечения с осью Z отрезок Δ_3. Соединяем конец этого отрезка с нулём вертикали 4.

Участок 2 укоротился на $\Delta_2 = -7{,}5 \cdot 10^{-4}$. На вертикали 2 из точки с ординатой Δ_3 откладываем вниз отрезок Δ_2. Ордината полученного отрезка равна $\Delta_2 + \Delta_3 = -7{,}5 \cdot 10^{-4} - 1{,}26 \cdot 10^{-3} = -2{,}01 \cdot 10^{-3}$ м. Соединяем прямой концы отрезков, отложенных на вертикалях 2 и 3.

Участок 1 удлинился на $\Delta_1 = 9{,}00 \cdot 10^{-4}$. Проектируем на вертикаль 1 отрезок, построенный на вертикали 2, из конца проекции откладываем вверх отрезок Δ_1. Длина отрезка, построенного на вертикали 1, будет $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = 9 \cdot 10^{-4} - 7{,}5 \cdot 10^{-4} - 1{,}26 \cdot 10^{-3} + 0 = -1{,}11 \cdot 10^{-3}$. Соединяем между собой концы отрезков, построенных на вертикалях 1 и 2 (рис. 2, *д*).

Задача № 2. Расчёт вала на кручение и жёсткость

Стальной вал, на котором жестко закреплены 5 шкивов (рис. 3, *а*), вращается со скоростью n [об/мин]. Нумерация шкивов – слева направо. Участку вала между шкивами присвоен номер левого шкива. Участки 1 и 4 имеют одинаковое круглое поперечное сечение, участки 2 и 3 — кольцевое. Отношение внутреннего диаметра кольца к наружному равно $\delta = 0{,}65$. На шкив 3 подана мощность N_3 [кВт]. Шкивы 1, 2, 4, 5 отбирают мощности (кВт): N_1, N_2, N_4, N_5. Выбрать диаметры участков стального вала из условия прочности по допускаемому касательному напряжению $[\tau]$ и условия жёсткости по допускаемому относительному углу закручивания $[\theta^\circ]$. Построить эпюру углов закручивания вала. Длины участков ($L_1 - L_4$,) в [м] заданы. Модуль сдвига стали равен $G = 80000$ МПа.

Таблица 2

Исходные данные к задаче № 2

№ п/п	n, $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	δ	Мощность, кВт					Длина участка, м				$[\tau]$, МПа	$[\theta^\circ]$, $\frac{\text{град}}{\text{м}}$
			N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	L_1	L_2	L_3	L_4		
1	120	0,40	3	5	15	4	3	0,75	2,00	0,75	2,00	30	0,25
2	160	0,45	4	7	20	6	3	1,00	2,25	1,00	1,75	40	0,50
3	200	0,50	4	7	25	8	6	1,25	2,50	1,25	1,50	50	0,75
4	240	0,55	7	8	30	9	6	1,50	0,75	1,50	1,25	60	1,00
5	280	0,60	8	11	35	9	7	1,75	1,00	1,75	1,00	70	1,25
6	320	0,65	8	13	40	10	9	2,00	1,25	2,00	0,75	80	1,50
7	360	0,70	9	15	45	13	8	2,25	1,50	0,75	2,00	90	1,75
8	400	0,75	9	16	50	17	8	2,50	1,75	1,00	1,75	100	2,00
9	440	0,80	10	17	55	16	12	2,75	2,00	1,25	1,50	110	2,25
10	480	0,85	12	18	60	22	8	0,75	2,25	1,50	1,25	120	2,50
11	520	0,90	12	24	65	16	13	1,00	2,50	1,75	1,00	130	2,75
12	560	0,95	16	22	70	19	13	1,25	0,75	2,00	0,75	30	3,00
13	600	0,40	18	25	75	20	12	1,50	1,00	2,25	2,00	40	3,25
14	640	0,45	16	22	80	28	14	1,75	1,25	0,75	1,75	50	3,50
15	680	0,50	18	26	85	24	17	2,00	1,50	1,00	1,50	60	3,75
16	120	0,55	18	30	90	25	17	2,25	1,75	1,25	1,25	70	4,00
17	160	0,60	19	30	95	25	21	2,50	2,00	1,50	1,00	80	0,25
18	200	0,65	3	5	15	4	3	2,75	2,25	1,75	0,75	90	0,50
19	240	0,70	4	7	20	6	3	0,75	2,50	2,00	2,00	100	0,75
20	280	0,75	4	7	25	8	6	1,00	0,75	2,25	1,75	110	1,00
21	320	0,80	7	8	30	9	6	1,25	1,00	0,75	1,50	120	1,25
22	360	0,85	8	11	35	9	7	1,50	1,25	1,00	1,25	130	1,50
23	400	0,90	8	13	40	10	9	1,75	1,50	1,25	1,00	30	1,75
24	440	0,95	9	15	45	13	8	2,00	1,75	1,50	0,75	40	2,00
25	480	0,40	9	16	50	17	8	2,25	2,00	1,75	2,00	50	2,25
26	520	0,45	10	17	55	16	12	2,50	2,25	2,00	1,75	60	2,50

Окончание табл. 2

№ п/п	n, об/мин	δ	Мощность, кВт					Длина участка, м				[τ], МПа	$[\theta^{\circ}]$, град/м
			N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	L_1	L_2	L_3	L_4		
27	560	0,50	12	18	60	22	8	2,75	2,50	2,25	1,50	70	2,75
28	600	0,55	12	24	65	16	13	0,75	0,75	0,75	1,25	80	3,00
29	640	0,60	16	22	70	19	13	1,00	1,00	1,00	1,00	90	3,25
30	680	0,65	18	25	75	20	12	1,25	1,25	1,25	0,75	100	3,50
31	120	0,70	16	22	80	28	14	1,50	1,50	1,50	2,00	110	3,75
32	160	0,75	18	26	85	24	17	1,75	1,75	1,75	1,75	120	4,00
33	200	0,80	18	30	90	25	17	2,00	2,00	2,00	1,50	130	0,25
34	240	0,85	19	30	95	25	21	2,25	2,25	2,25	1,25	30	0,50
35	280	0,90	3	5	15	4	3	2,50	2,50	0,75	1,00	40	0,75
36	320	0,95	4	7	20	6	3	2,75	0,75	1,00	0,75	50	1,00
37	360	0,40	4	7	25	8	6	0,75	1,00	1,25	2,00	60	1,25
38	400	0,45	7	8	30	9	6	1,00	1,25	1,50	1,75	70	1,50
39	440	0,50	8	11	35	9	7	1,25	1,50	1,75	1,50	80	1,75
40	480	0,55	8	13	40	10	9	1,50	1,75	2,00	1,25	90	2,00
41	520	0,60	9	15	45	13	8	1,75	2,00	2,25	1,00	100	2,25
42	560	0,65	9	16	50	17	8	2,00	2,25	0,75	0,75	110	2,50
43	600	0,70	10	17	55	16	12	2,25	2,50	1,00	2,00	120	2,75
44	640	0,75	12	18	60	22	8	2,50	0,75	1,25	1,75	130	3,00
45	680	0,80	12	24	65	16	13	2,75	1,00	1,50	1,50	30	3,25
46	120	0,85	16	22	70	19	13	0,75	1,25	1,75	1,25	40	3,50
47	160	0,90	18	25	75	20	12	1,00	1,50	2,00	1,00	50	3,75
48	200	0,95	16	22	80	28	14	1,25	1,75	2,25	0,75	60	4,00
49	240	0,40	18	26	85	24	17	1,50	2,00	0,75	2,00	70	0,25
50	280	0,45	18	30	90	25	17	1,75	2,25	1,00	1,75	80	0,50
51	320	0,50	19	30	95	25	21	2,00	2,50	1,25	1,50	90	0,75
52	360	0,55	3	5	15	4	3	2,25	0,75	1,50	1,25	100	1,00
53	400	0,60	4	7	20	6	3	2,50	1,00	1,75	1,00	110	1,25
54	440	0,65	4	7	25	8	6	2,75	1,25	2,00	0,75	120	1,50
55	480	0,70	7	8	30	9	6	0,75	1,50	2,25	2,00	130	1,75
56	520	0,75	8	11	35	9	7	1,00	1,75	0,75	1,75	30	2,00
57	560	0,80	8	13	40	10	9	1,25	2,00	1,00	1,50	40	2,25
58	600	0,85	9	15	45	13	8	1,50	2,25	1,25	1,25	50	2,50
59	640	0,90	9	16	50	17	8	1,75	2,50	1,50	1,00	60	2,75
60	680	0,95	10	17	55	16	12	2,00	0,75	1,75	0,75	70	3,00
61	120	0,40	13	22	60	16	9	2,00	2,25	1,00	2,25	80	3,25
62	160	0,45	11	21	65	23	10	1,75	2,50	1,25	0,75	90	3,50
63	200	0,50	15	19	70	23	13	1,50	2,75	1,50	1,00	100	3,75
64	240	0,55	14	21	75	25	15	1,25	0,75	1,75	1,25	110	4,00

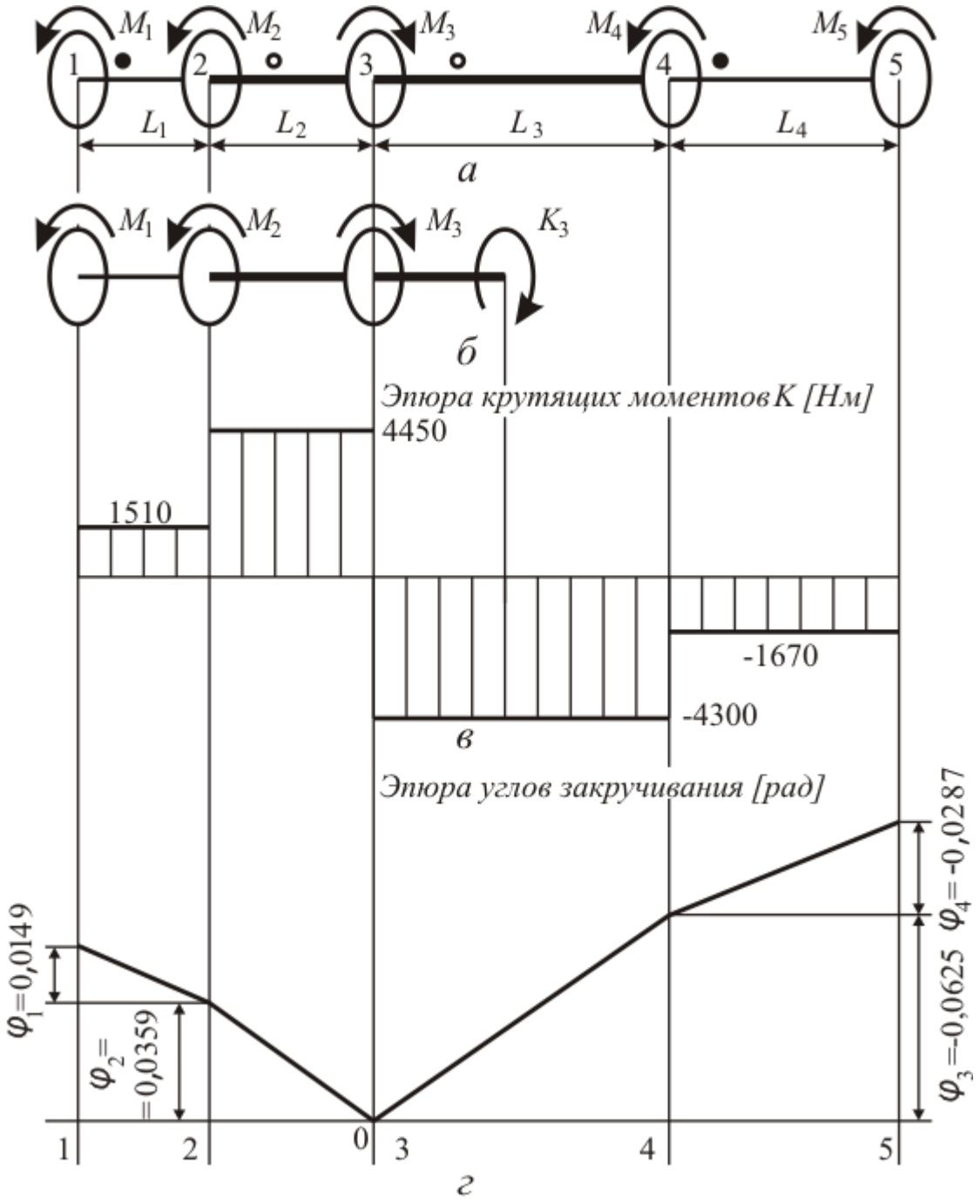


Рис. 3. Расчетная схема вала, эпюры момента и углов закручивания

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 2

Стальной вал, несущий 5 шкивов (см.рис. 3, *а*), вращается со скоростью $n = 360$ об/мин. Шкивы пронумерованы слева направо. Участку вала между шкивами присвоен номер левого шкива. Участки 1 и 4 имеют одинаковое круглое сечение, участки 2 и 3 — кольцевое. Отношение внутреннего диаметра кольца к наружному равно $\delta = 0{,}65$. На шкив 3 подана мощность $N_3 = 110$ кВт. Шкивы 1, 2, 4, 5 отбирают мощности [кВт]: $N_1 = 19$, $N_2 = 37$, $N_4 = 33$, $N_5 = 21$. Выбрать диаметры участков вала из условий прочности и жёсткости, если допускаемые касательные напряжения $[\tau] = 70$ МПа, а допускаемый

относительный угол закручивания $[\theta^{\circ}] = 1{,}75$ град/м. Построить эпюру углов закручивания вала. Длины участков [м]: $L_1 = 1{,}00$; $L_2 = 1{,}25$; $L_3 = 2{,}25$; $L_4 = 1{,}75$. Модуль сдвига стали $G = 80000$ МПа.

РЕШЕНИЕ

1. Мощности переводим в ватты [Вт]: $N_1 = 1{,}9 \cdot 10^4$; $N_2 = 3{,}7 \cdot 10^4$; $N_3 = 1{,}1 \cdot 10^5$; $N_4 = 3{,}3 \cdot 10^4$; $N_5 = 2{,}1 \cdot 10^4$.

2. Модуль сдвига G и допускаемые касательные напряжения $[\tau]$ переводим в паскали [Па]: $G = 8 \cdot 10^{10}$; $[\tau] = 7 \cdot 10^7$.

3. Допускаемый относительный угол закручивания $[\theta^{\circ}]$ задаём в [рад/м]

$$[\theta] = \pi/180\ [\theta^{\circ}] = 3{,}14/180 \cdot 1{,}75 = 0{,}0305.$$

4. Угловая скорость вала:

$$\omega = 2\pi n/60 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 360/60 = 12{,}6 \text{ [рад/с]}.$$

5.Моменты [Н · м], приложенные к шкивам, находим по формуле

$$M_i = N_i/\omega,\ (i = 1,2,\ldots,5).$$

Получаем: $M_1 = 1510$, $M_2 = 2940$, $M_3 = -8750$, $M_4 = 2630$, $M_5 = 1670$.

6.Строим эпюру крутящих моментов методом сечений. Разрезаем вал на участке i, выбираем левый кусок и прикладываем в разрезанном сечении крутящий момент K_i, вращающий вал по ходу стрелок часов. Величину K_i находим из условия равенства нулю алгебраической суммы момента K_i и моментов M_i, приложенных к шкивам, находящимся на левом куске вала.

Пусть $i = 3$. На левый кусок действуют момент K_3 и моменты $M_1 - M_3$, приложенные к шкивам 1 – 3 (рис. 3, *б*). Из уравнения равновесия куска

$$K_3 + M_3 - M_2 - M_1 = 0$$

получаем

$$K_3 = -M_3 + M_2 + M_1 = -8750 + 2940 + 1510 = -4300..\text{Н} \cdot \text{м}].$$

Найденное значение крутящего момента откладываем на эпюре крутящих моментов K. Для этого отмечаем на оси абсцисс координату сечения и из отмеченной точки откладываем вниз перпендикулярно оси (в выбранном масштабе) значение $K_3 = -4300$. Участок 3 разрезан произвольно, поэтому полученный результат справедлив для любого выбранного на участке 3 сечения. Между вертикалями 3 и 4 через построенную точку K_3 проводим прямую, параллельную оси вала (рис. 3, *в*).

7. Расчётный момент для подбора диаметра круглого вала из условия прочности..$M_к = \max\{K_1, |K_4|\} = \max\{1510, |-1670|\} = 1670$..[Н· м].

Расчётный момент для подбора диаметра кольцевого вала из условия прочности..$M_m = \max\{K_2, |K_3|\} = \max\{4450, |-4300|\} = 4450$ [Н· м].

8. Диаметр круглого вала из условия прочности

$$D_{к\tau} = \sqrt[3]{16\,M_к/(\pi\,[\tau])} = (16\cdot 1670/(3{,}14\cdot 7\cdot 10^7))^{1/3} = 0{,}0576\,[\text{м}].$$

9.Диаметр круглого вала из условия жёсткости

$$D_{к\theta} = \sqrt[4]{32\,M_к/(\pi\,G\,[\theta])} = \sqrt[4]{32\cdot/(3{,}14\cdot 8\cdot 10^{10}\cdot 0{,}0305} = 0{,}0575[\text{м}].$$

Выбираем большее из чисел $D_{к\tau}$ и $D_{к\theta}$, переводим в миллиметры и округляем в большую сторону до стандартного (кратного 5 мм) значения. $D_{к\tau}\cdot 10^3 = 0{,}0576\cdot 10^3 < 60$ мм. Диаметр участков 1 и 4 выбираем равным $D_к = 60{,}0\,[\text{мм}] = 0{,}06\,[\text{м}]$.

10. Ищем полярный момент инерции круглого вала

$$J_{рк} = \pi\,D_к^4/32 = 3{,}14\cdot 0{,}06^4/32 = 1{,}27\cdot 10^{-6}\,[\text{м}^4].$$

11. Вычисляем углы закручивания [рад] участков 1 и 4 по формуле

$$\varphi_i = M_i\cdot L_i/(G\cdot J_{рк}),\quad (i = 1{,}4).$$

Получаем:

$$\varphi_1 = M_i\cdot L_i/(G\cdot J_{рк}) = 1510\cdot 1{,}00/(8\cdot 10^{10}\cdot 1{,}27\cdot 10^{-6}) = 0{,}0149,$$
$$\varphi_4 = M_1\cdot L_1/(G\cdot J_{рк}) = -1670\cdot 1{,}75/(8\cdot 10^{10}\cdot 1{,}27\cdot 10^{-6}) = -0{,}0287.$$

12. Диаметр вала кольцевого сечения из условия прочности

$$D_{m\tau} = \sqrt[3]{16\,M_m/\left(\pi\,[\tau]\left(1-\delta^4\right)\right)} =$$
$$= \left(16\cdot 4450/\left(3{,}14\cdot 7\cdot 10^7\cdot\left(1-0{,}65^4\right)\right)\right)^{1/3} = 0{,}0687\,[\text{м}].$$

13. Диаметр вала кольцевого сечения из условия жёсткости:

$$D_{m\theta} = \sqrt[4]{32\,M_m/\left(\pi\,G[\theta]\left(1-\delta^4\right)\right)} =$$
$$= \sqrt[4]{32\cdot 4450/\left(3{,}14\cdot 8\cdot 10^{10}\cdot 0{,}0305\cdot\left(1-0{,}65^4\right)\right)} = 0{,}0689\ [\text{м}].$$

14. Большее из значений $D_{m\tau}$ и $D_{m\theta}$ переводим в миллиметры и округляем в большую сторону до стандартного (кратного 5 мм) значения. $D_{m\theta}\cdot 1000 = 0{,}0689\cdot 1000 = 68{,}9 < 70$ мм. Наружный диаметр вала кольцевого сечения назначаем равным $D_m = 70{,}0\,[\text{мм}] = 0{,}07\,[\text{м}]$.

15. Внутренний диаметр кольцевого сечения вала

$$d_m = \delta\,D_m = 0{,}65\cdot 0{,}07 = 0{,}0455\,[\text{мм}].$$

16. Ищем полярный момент инерции кольцевого сечения

$$J_{pm} = \pi\,D_m^4\,(1-\delta^4)/32 = 3{,}14\cdot 0{,}07^4\cdot(1-0{,}65^4)/32 = 1{,}94\cdot 10^{-6}\,[\text{м}^4].$$

17. Вычисляем углы закручивания [рад] участков 2 и 3:

$$\varphi_2 = M_2 \cdot L_2/(G \cdot J_{p\,кр}) = 4450 \cdot 1{,}25/(8 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}94 \cdot 10^{-6}) = 0{,}0359;$$
$$\varphi_3 = M_3 \cdot L_3/(G \cdot J_{p\,кр}) = -4300 \cdot 2{,}25/(8 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}94 \cdot 10^{-6}) = -0{,}0625.$$

18. Строим эпюру углов закручивания вала. Вал равномерно вращается. Ведущий шкив 3 считаем условно неподвижным. Проводим ось вала Z и точку её пересечения с вертикалью 3 отмечаем как 0.

На вертикали 2 откладываем вверх в принятом масштабе величину φ_2. Соединяем прямой линией точки с ординатами 0 и φ_2. На этот угол повернулся шкив 2 относительно ведущего шкива 3. Вместе со шкивом 2 на тот же угол повернулся как целое участок 1 – 2 вала со шкивом 1.

Поворот шкива 1 относительно ведущего шкива 3 складывается из поворота участка вала 1 – 2 как жёсткого целого плюс поворот из-за деформации участка 1 – 2. Проектируем на вертикаль 1 отрезок φ_2 и из его конца откладываем отрезок φ_1. Расстояние $\varphi_1 + \varphi_2$ от оси Z до конца суммарного отрезка, построенного на вертикали 1, пропорционально углу поворота шкива 1 относительно шкива 3. Концы отрезков, построенных на вертикалях 1 и 2, соединяем прямой.

Построение углов поворота дисков 4 и 5 относительно диска 3 подобно приведённому. На вертикали 4 откладываем вниз отрезок φ_3 – пропорциональный углу закручивания участка 3 – 4 вала. Конец этого отрезка соединяем прямой с нулём вертикали 3. Проектируем отрезок φ_3 на вертикаль 5 и из конца проекции откладываем вниз отрезок φ_4, пропорциональный углу закручивания участка 4 – 5 вала. Отрезок $\varphi_3 + \varphi_4$ представляет угол поворота шкива 5 относительно ведущего шкива 3. Концы отрезков на вертикалях 4 и 5 соединяем прямой. Эпюра углов закручивания вала дана на рис. 3, *г*.

Задача № 3. Расчёт балки на прочность при изгибе

Двутавровая балка закреплена на двух опорах: подвижной в осевом направлении – правой и неподвижной – левой (рис. 4.1 – 4.4). Балка нагружена сосредоточенной нагрузкой P, изгибающим моментом M и равномерно распределенной нагрузкой q. Балка работает на изгиб. Построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и по заданным допускаемым напряжениям [σ] подобрать стандартный двутавр и брус прямоугольного сечения с соотношением сторон 1:2 (высота в 2 раза больше ширины). Сравнить массы 1 м двутавра и прямоугольного бруса.

Таблица 3

Исходные данные к задаче № 3

Номер схемы	Нагрузка			Длина участка, м				[σ], МПа
	P, кН	M, кН · м	q, кН/м	L_0	L_1	L_2	L_3	
1	75,0	125	20	0	2,0	1,4	1,3	200
2	65,0	215	60	0	3,1	2,2	1,5	240
3	60,0	130	40	0	2,4	3,0	2,3	280
4	80,0	220	24	0	2,6	2,9	1,7	320
5	90,0	135	56	0	2,8	1,8	2,5	360
6	95,0	225	38	0	2,9	2,6	2,7	400
7	95,0	140	28	0	2,7	2,0	2,6	440
8	85,0	220	52	0	2,5	2,8	2,1	480
9	90,0	145	36	0	2,6	2,4	2,9	520
10	35,0	215	32	0	2,7	2,3	2,3	560
11	82,0	150	48	0	2,2	2,4	3,1	600
12	38,0	210	34	0	2,5	3,2	2,1	640
13	96,0	155	36	0	3,3	2,6	2,0	680
14	36,0	205	44	0	2,4	1,4	2,7	200
15	70,0	160	32	0	2,5	1,8	1,5	240
16	46,0	200	40	0	2,6	1,7	2,9	280
17	68,0	165	40	0	2,6	3,0	1,7	320
18	67,0	195	30	0	3,1	1,8	1,5	360
19	38,0	170	44	0	2,9	3,2	1,4	400
20	43,0	215	56	0	2,9	2,8	3,0	240
21	76,0	175	28	0	2,2	3,3	2,1	480
22	32,0	185	48	0	2,2	3,2	1,5	520
23	39,0	180	32	0	2,3	1,6	2,3	560
24	91,0	225	26	0	2,7	2,4	3,0	600
25	68,0	125	52	0	2,5	2,6	2,5	640
26	66,0	220	26	0	2,6	2,7	3,2	680
27	45,0	130	24	0	2,5	2,4	1,5	200
28	43,0	215	56	0	2,9	2,8	3,0	240
29	52,0	135	22	0	2,3	2,4	1,7	280
30	69,0	210	22	0	2,7	2,0	3,0	320
31	86,0	140	60	0	3,1	1,6	2,9	360

Окончание табл. 3

Номер схемы	Нагрузка			Длина участка, м				[σ], МПа
	P, кН	M, кН · м	q, кН/м	L_0	L_1	L_2	L_3	
32	99,0	205	18	1,6	3,5	2,1	2,6	400
33	30,0	145	20	1,8	2,9	2,7	2,1	440
34	90,0	200	58	2,0	2,3	2,1	2,4	480
35	36,0	150	60	2,2	2,5	1,6	2,3	520
36	94,0	195	40	2,4	2,8	2,5	2,5	560
37	99,0	155	54	2,6	2,7	2,4	1,8	600
38	65,0	190	55	2,8	3,0	1,7	2,3	640
39	87,0	160	42	3,0	2,6	1,6	2,6	680
40	58,0	185	50	3,0	2,8	2,1	2,3	200
41	72,0	165	50	2,8	2,5	2,4	2,5	240
42	24,0	180	44	2,6	1,9	2,4	2,3	280
43	70,0	170	46	2,4	2,0	3,1	2,7	320
44	46,0	175	45	2,2	2,4	2,1	2,0	360
45	45,0	175	46	2,0	3,2	2,2	2,2	400
46	87,0	165	42	1,8	3,0	1,4	1,8	440
47	37,0	180	40	1,6	2,2	1,7	3,2	480
48	89,0	160	48	1,6	2,2	2,4	1,9	520
49	35,0	185	38	1,8	2,7	2,3	2,9	560
50	71,0	155	35	2,0	2,5	2,6	1,3	600
51	90,0	190	50	2,2	2,4	2,7	1,9	640
52	86,0	150	34	2,4	2,8	2,0	2,7	680
53	52,0	195	30	2,6	2,9	2,7	2,3	200
54	83,0	145	52	2,8	2,8	1,8	2,6	240
55	72,0	200	30	3,0	2,0	2,9	3,0	280
56	82,0	140	25	3,0	2,9	3,2	3,5	320
57	98,0	205	54	2,8	2,8	3,3	3,6	360
58	47,0	135	26	2,6	2,4	1,4	2,7	400
59	82,0	210	22	2,4	2,3	3,3	1,9	440
60	65,0	130	30	3,2	2,5	1,7	2,3	480
61	46,0	175	26	2,6	2,4	1,9	2,1	520
62	69,0	140	45	2,0	2,4	2,2	1,4	560
63	34,0	200	38	2,2	2,8	2,6	1,8	600
64	68	215	32	1,8	3,0	2,4	1,8	640

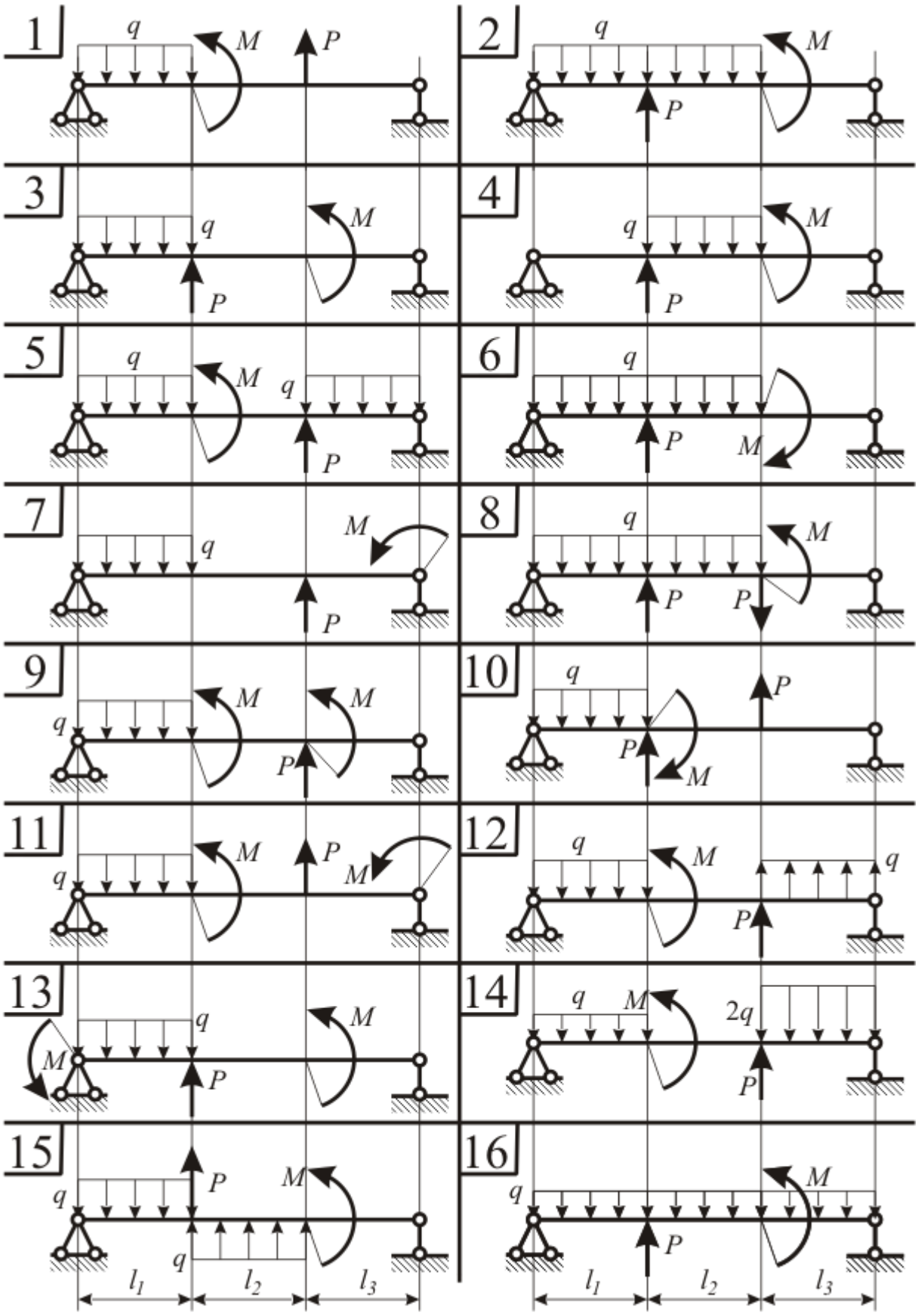


Рис. 4.1. Исходные данные к задачам 3, 4. Варианты 1 - 16

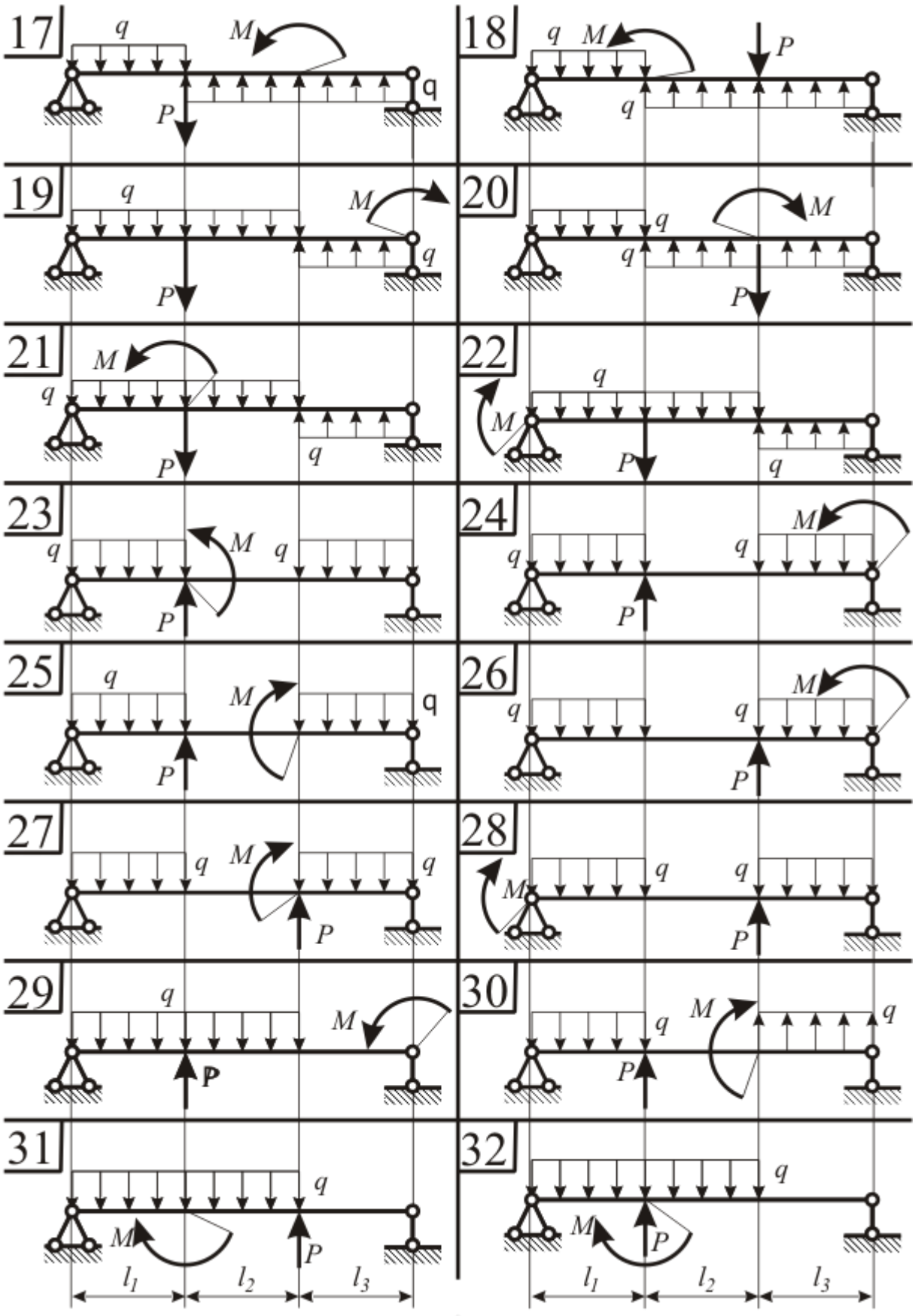


Рис. 4.2. Исходные данные к задачам 3, 4. Варианты 17 - 32

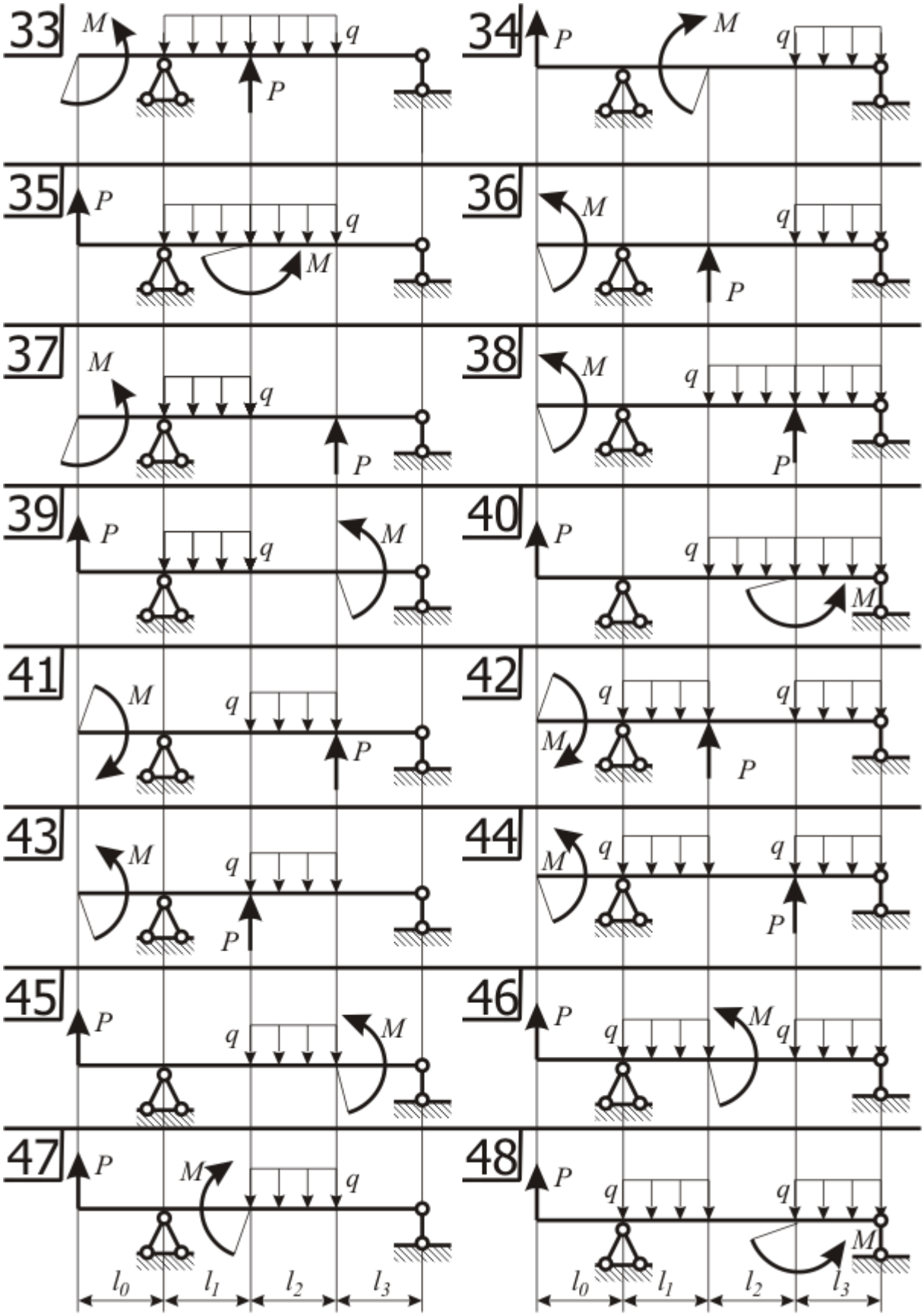


Рис. 4.3. Исходные данные к задачам 3, 4. Варианты 33 - 48

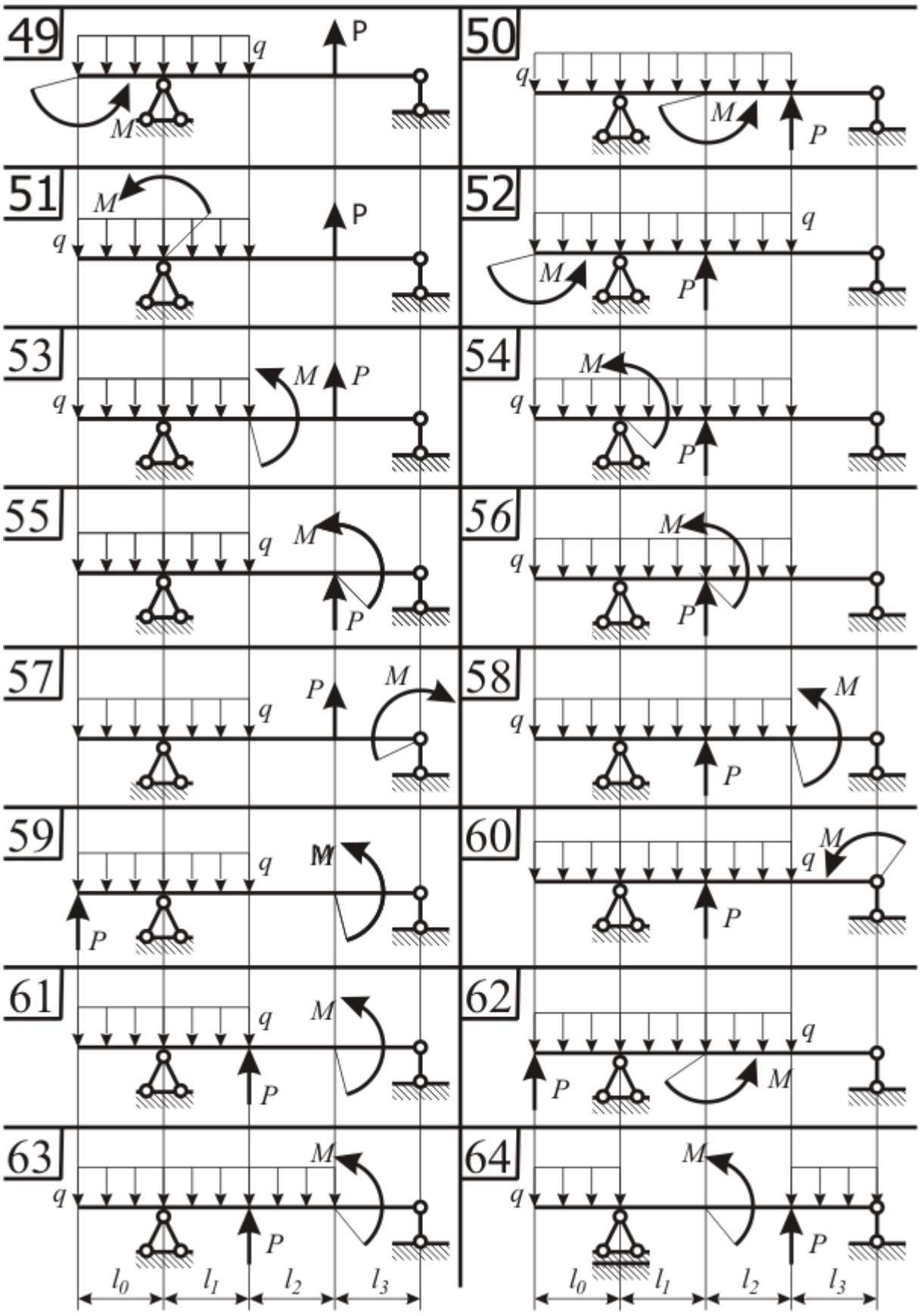


Рис. 4.4. Исходные данные к задачам 3, 4. Варианты 49 - 64

Задача № 4. Расчёт балки на жёсткость

Двутавровая балка закреплена на двух опорах: подвижной в осевом направлении – правой и неподвижной – левой (рис. 4.1 – 4.4). Балка нагружена сосредоточенной силой P, изгибающим моментом M и равномерно распределенной нагрузкой q. Балка работает на изгиб. По результатам расчетов задачи № 3, т. е. известному моменту инерции двутавровой балки, построить её изогнутую ось. Прогибы и углы поворота сечения балки определять в точках приложения сил реакций и внешних сил, моментов и по середине пролета, в котором приложена распределенная нагрузка. Найти максимальный прогиб и сравнить с допускаемым, который принят равным 1/200 длины максимального пролета (длины консоли или расстояния между опорами). Расчет производить методом начальных параметров. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 3.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ № 3 и 4

Стальная двутавровая балка (рис. 4.5), шарнирно опёртая в крайних сечениях 1 и 5, нагружена: силами $P_1 = 40$ [кН], $P_2 = 40$ [кН], приложенными в сечениях 2, 3; изгибающим моментом $M = 50$ [кН·м], приложенным в сечении 4; нагрузкой интенсивности $q = 20$ [кН/м], равномерно распределённой на участке 1 – 4. Сечения, в которых приложены нагрузки, разбивают балку на 4 участка. Номер участка совпадает с номером левого сечения. Длины участков: $l_1 = 2$ [м], $l_2 = 2{,}5$ [м], $l_3 = 3{,}5$ [м], l_4= 3[м]. Допускаемое напряжение $[\sigma] = 200$ [МПа]. Подобрать из условия прочности двутавр по ГОСТ 8239-89.

Допустимый прогиб $L/200$, где $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 11$ [м] – длина пролёта. Найти упругую линию балки. Сравнить максимальный прогиб с допускаемым.

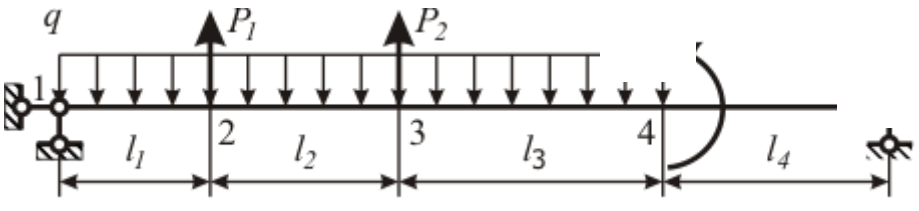


Рис. 4.5. Схема нагружения однопролетной балки

РЕШЕНИЕ

1. Находим опорные реакции из уравнений моментов относительно опор: $\sum mom_1 = 0;\ \ \sum mom_5 = 0.$ Положительное направление реакций определяется правилом знаков (рис. 4.6).

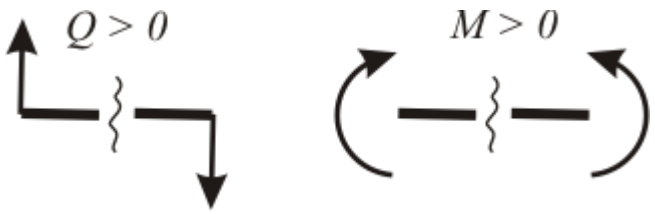


Рис. 4.6. Правило знаков для внутренних силовых факторов

Выбранные направления реакций показаны на рис. 4.7, *б*. Если получено отрицательное значение реакции, то её истинное направление противоположно выбранному.

$$R_5 L - q\,(l_1 + l_2 + l_3)^2/2 + P_1 l_1 + P_2(l_1 + l_2) + M = 0;$$
$$-R_1 L + q\,(l_1 + l_2 + l_3)((l_1 + l_2 + l_3)/2 + l_4) - P_1(l_2 + l_3 + l_4) - $$
$$-P_2(l_3 + l_4) + M = 0.$$

Решая уравнения, получаем:

$$R_5 = 1/L\ (q\ (l_1 + l_2 + l_3)^2/2 - P_1 l_1 - P_2\,(l_1 + l_2) - M) =$$
$$= 1/11\ \ (20\ \ (2 + 2{,}5 + 3{,}5)^2/2) - 40 \cdot 2 - 40\ \ (2 + 2{,}5) - 50)\ =\ 30\ \text{[кН]};$$
$$R_1 = 1/L\ (q\,(l_1 + l_2 + l_3)\,((l_1 + l_2 + l_3)/2 + l_4) -$$
$$-P_1\ (l_2 + l_3 + l_4) - P_2\ (l_3 + l_4) + M) =$$
$$= 1/11\,(20\ \ (2 + 2{,}5 + 3{,}5)\ \ ((2 + 2{,}5 + 3{,}5)/2 + 3) -$$
$$-40\,(2{,}5 + 3{,}5 + 3) - 40\,(3{,}5 + 3) + 50) = 50\ \text{[кН]}.$$

2. Проверка – обязательный этап. Для проверки составляем уравнение моментов относительно любой точки или (что проще, но не всегда гарантирует правильность вычислений) уравнение суммы проекций всех сил на вертикаль. Запишем сумму моментов относительно точки 4:

$$\sum mom_4 = -R_0\ (l_0 + l_1 + l_2) -$$
$$-P_1\ \ (l_1 + l_2) - P_2 l_2 + q\ \ (l_0 + l_1 + l_2)^2/2 + M + R_4 l_3 =$$
$$= -50\,(2 + 2{,}5 + 3{,}5) - 40\,(2{,}5 + 3{,}5) - 40 \cdot 3{,}5 +$$
$$+20\ \ (2 + 2{,}5 + 3{,}5)^2/2 + 50 + 30 \cdot 3 = 0\ .$$

3. Строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Границами участков являются точки, в которых приложены силы и моменты, или начинаются участки с распределённой нагрузкой. Если участок разрезать в произвольной точке, полученный результат будет справедлив для любой точки сечения (по граничным точкам разрезать балку нельзя). Внешние нагрузки, приложенные к балке, и опорные реакции образуют уравновешенную систему сил. Разрезав балку, получим два куска, каждый из которых нагружен неуравновешенной системой сил. Мысленное разрезание не может нарушить равновесия кусков. Равновесие обеспечивают внутренние силы и моменты, действующие в разрезах. По третьему закону Ньютона силы, приложенные к полученным кускам, равны по величине и направлены в разные стороны.

Величины находим из условий равновесия любого из кусков. Для этого составляем сумму проекций нагрузок на вертикаль и сумму моментов нагрузок, приложенных к куску, относительно центра масс разреза.

3.1. Участок 4 (рис. 4.7, *в*). Рассматриваем равновесие правого куска. Правило знаков дано на рис. 4.6. Координату сечения отсчитываем от точки 4 (которая является границей разрезанного участка на правом куске). При этом выборе точки отсчёта координата сечения меняется в пределах длины исследуемого участка ($0 \le z_4 \le l_4 = 3$ [м]).

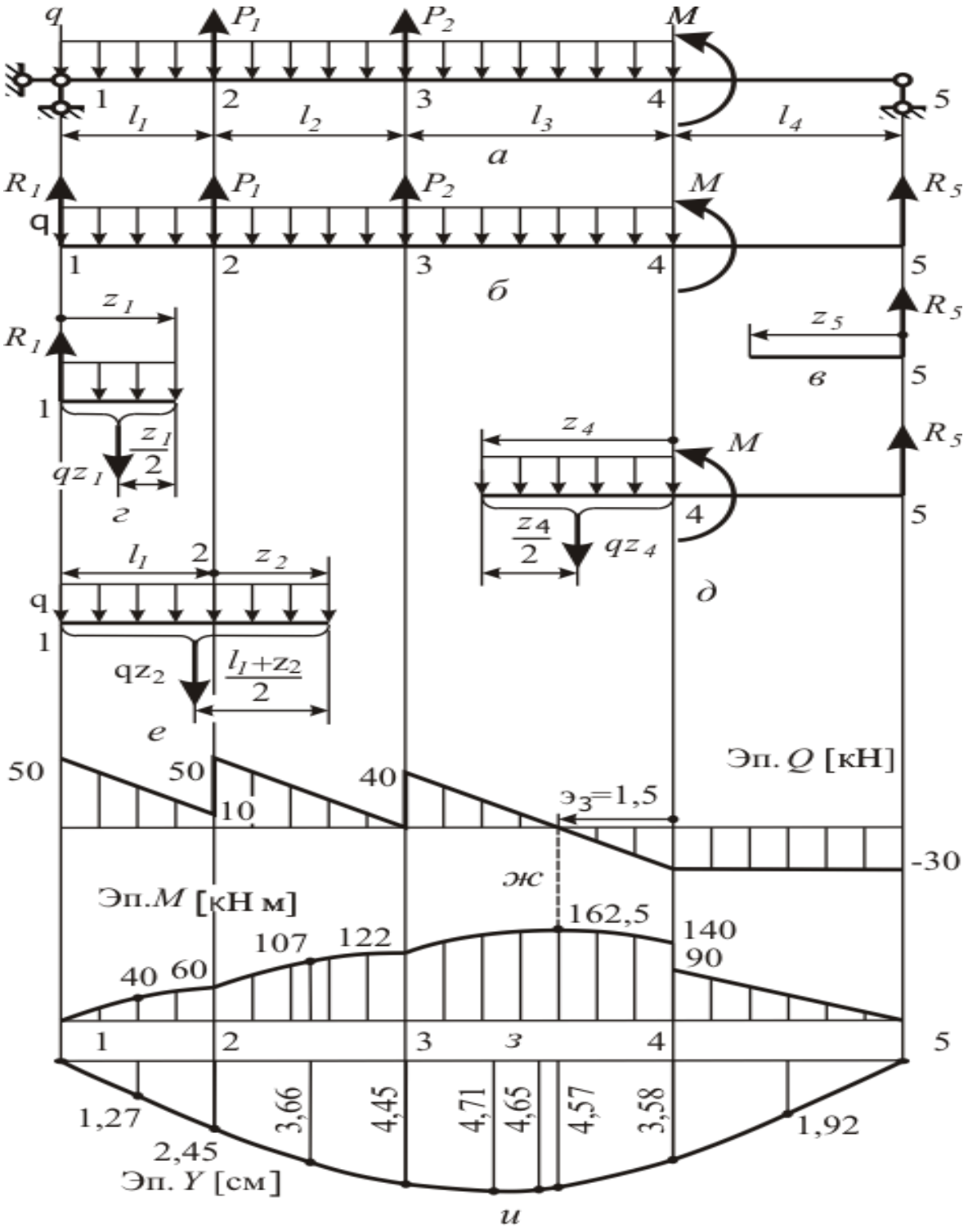


Рис. 4.7. Изгиб балки. Эпюры Q, M, Y

Получаем $Q_4(z_5) = -R_5$. Поперечная сила постоянна вдоль участка 4 (рис. 4.7, *ж*).

Изгибающий момент $M_4(z_5) = R_5\, z_5$. Он является линейной функцией координаты z_5. Вычисляем значения в начале и конце участка 4: $M_4(0) = R_5 \cdot 0 = 0$; $M_4(l_4) = R_5\, l_4 = 30 \cdot 3 = 90$ [кН·м]. Строим эпюру изгибающего момента (рис. 4.7, *з*).

3.2. Участок 1 (рис. 4.7, *г*). Рассматриваем равновесие левого куска. Правило знаков дано на рис. 4.6. Расстояние до разреза (координату сечения) отсчитываем от точки 1 ($0 \le z_1 \le l_1 = 2$ [м]). Получаем $Q_1(z_1) = R_1 - q\, z_1$. Поперечная сила меняется по линейному закону вдоль участка 1 (рис. 4.7, *ж*). Находим значения $Q_1(z_1)$ в начале и в конце участка

$$Q_1(0) = R_0 - q \cdot 0 = 50 \text{ [кН]};$$
$$Q_1(l_0) = R_0 - q\ l_0 = 50 - 20 \cdot 2 = 10 \text{ [кН]}.$$

Значение $z_0 = e_1$, при котором поперечная сила равна 0, находим решая уравнение $Q_1(e_1) = R_1 - q\, e_1 = 0$. Получим: $e_1 = R_1/q = 50/2 = 2{,}5$ [м]. Корень лежит вне участка 1. Функция $Q_1(z_1)$ не обращается в нуль на этом участке.

Изгибающий момент на участке 1 равен $M_1(z_1) = R_1 z_1 - q\, z_1^2/2$. Момент $M_1(z_1)$ является квадратичной функцией координаты z_1. Кривые вычерчивают по трём точкам. Вычисляем значения в начале и конце участка:

$$M_1(0) = R_1 0 - q\, 0^2/2 = 0;$$
$$M_1(l_1) = R_1 l_1 - q\, l_1^2/2 = 50 \cdot 2 - 20 \cdot 2^2/2 = 60 \text{ [кН·м]}.$$

В качестве третьей точки берут точку участка 1, в которой поперечная сила обращается в нуль. Если $Q_1 \ne 0$ на участке 1, ищем момент посередине участка: $M_1(l_1/2) = R_1\, l_1/2 - q\, (l_1/2)^2/2 = 50 \cdot 1 - 20 \cdot 1^2/2 = 40$ [кН·м]. Строим эпюру изгибающего момента (рис. 4.7, *з*).

3.3. Участок 3 (рис. 4.7, *д*). Разрезаем балку между сечениями 3 и 4. Рассматриваем равновесие правого куска балки. Расстояние до разреза отсчитываем от точки 4 (которая ограничивает участок 3 справа). При этом ($0 \le z_4 \le l_3 = 3{,}5$ [м]).

Поперечная сила $Q_3(z_4)$ изменяется вдоль участка 3 (рис. 4.7, *ж*) по линейному закону $Q_3(z_4) = -R_5 + q\ z_4$. На концах участка 3 получаем: $Q_3(0) = -R_5 + q \cdot 0 = -30$; $Q_3(l_3) = -R_5 + q\ l_3 = -30 + 20 \cdot 3{,}5 = 40$ кН. Поперечная сила Q_3 обращается в нуль в точке $e_3 = R_5/q = 30/20 = 1{,}5$ м.

Изгибающий момент на участке 3 равен

$$M_3(z_4) = M + R_5(z_4 + l_4) - q\, z_4^2/2.$$

Находим значения изгибающего момента на концах участка и в точке e_3:

$$M_3(0) = M + R_4(0 + l_4) - q\ \cdot 0^2/2 =$$
$$= 50 + 30\ (0 + 3) - 20 \cdot 0^2/2 = 140 \text{ [кН·м]};$$
$$M_3(l_3) = M + R_4(l_3 + l_4) - q\, l_3^2/2 =$$
$$= 50 + 30\ \ (3{,}5 + 3) - 20 \cdot 3{,}5^2/2 = 122 \text{ [кН·м]};$$

$$M_3(e_3) = M + R_4(e_3 + l_4) - q\ (e_3)^2/2 =$$
$$= 50 + 30\ (1{,}5 + 3) - 20 \cdot 1{,}5^2/2 = 162{,}5\ [\text{кН}\cdot\text{м}].$$

Момент в середине участка 3 практически не отличается от экстремального:

$$M_3(l_3/2) = M + R_4(l_3/2 + l_4) - q\ \ (l_3/2)^2/2 =$$
$$= 50 + 30\ \ (1{,}75 + 3) - 20 \cdot 1{,}75^2/2 = 161{,}9\ [\text{кН} \cdot \text{м}].$$

Строим эпюру изгибающего момента (рис. 4.7, *з*).

3.4. Участок 2 (рис. 4.7, *е*). Режем балку в любой точке, лежащей между точками 2 и 3. Рассматриваем равновесие левого куска. Расстояние до разреза (координату z_2) отсчитываем от точки 2 (границы участка на левом куске). При этом $0 \le z_2 \le l_2 = 2{,}5$ [м].

Поперечная сила $Q_2(z_2)$ меняется вдоль участка 2 (см. рис. 3.8, *ж*) по закону $Q_2(z_2) = R_1 + P_1 - q\ (l_1 + z_2)$.

Её значения на концах участка равны

$$Q_2(0) = R_1 + P_1 - q\ (l_1 + 0) = 50 + 40 - 20 \cdot 2 = 50[\text{кН}];$$
$$Q_2(l_2) = R_1 + P_1 - q\ (l_1 + l_2) = 50 + 40 - 20 \cdot (2 + 2{,}5) = 0[\text{кН}].$$

Поперечная сила $Q_2(z_2)$ обращается в нуль на правой границе участка 2:

$$e_2 = l_2 = 2{,}5\ [\text{м}].$$

Изгибающий момент $M_2(z_2)$ в точке z_2 участка 2 находим по формуле

$$M_2(z_2) = R_1 \cdot (z_2 + l_1) + P_1 \cdot z_2 - q\ (z_2 + l_1)^2/2.$$

Вычисляем значения момента на концах участка 2:

$$M_2(l_2) = R_1\ (l_1 + l_2) + P_1\ l_2 - q\ (l_1 + l_2)^2 = 50\ \ (2\ +\ 2{,}5) + 40\ \ 2{,}5 -$$
$$-20\ \ (2 + 2{,}5)^2/2 = 122$$

[кН ·м].

$$M_2(0) = R_1\ \ (0 + l_1) + P \cdot 0 - q\ \ (0 + l_1)^2/2 =$$
$$= 50\ \ (0 + 2) + 40 \cdot 0 - 20\ \ (0 + 2)^2/2 = 60\ [\text{кН} \cdot \text{м}];$$
$$M_2(l_2) = R_1\ \ (l_1 + l_2) + P_1 \cdot l_2 - q\ \ (l_1 + l_2)^2 =$$
$$= 50 \cdot (2 + 2{,}5) + 40 \cdot 2{,}5 - 20 \cdot (2 + 2{,}5)^2/2 = 122\ [\text{кН} \cdot \text{м}].$$

Точка экстремума $e_2 = 2{,}5$ [м] совпадает с правой границей участка 2. Момент в ней уже найден, поэтому в качестве третьей точки при построении эпюры $M_2(z_2)$ берём середину участка $z_2 = l_2/2 = 2{,}5/2 = 1{,}25$ [м].

Получаем

$$M_2(l_2/2) = R_1\ \ (l_2/2 + l_1) + P_1\ l_2/2 - q\ \ (l_2/2 + l_1)^2/2 =$$
$$= 50\ \ (1{,}25 + 2) + 40 \cdot 1{,}25 - 20\ \ (1{,}25 + 2)^2/2 = 107\ [\text{кН} \cdot \text{м}].$$

Строим эпюру изгибающего момента (рис. 4.7, *з*).

4. Выбор двутавра из условия прочности $\sigma_m = M_m/W \le [\sigma]$.

Здесь: $M_m = 162{,}5$ [кН ·м] $= 1{,}625 \cdot 10^5$ [Н ·м] – наибольший по модулю изгибающий момент в балке (найденный в п. 3);

$[\sigma] = 200$ [МПа] $= 2 \cdot 10^8$ [Н/м^2] – допускаемые напряжения.

Требуемый по условию прочности момент сопротивления изгибу $W = M_m/[\sigma] = 1{,}625 \cdot 10^5/2 \cdot 10^8 = 8{,}12 \cdot 10^{-4}$[м^3]$= 8{,}12 \cdot 10^2$[см^3].

По ГОСТ 8239-89 находим двутавр с ближайшим большим моментом

сопротивления изгибу: двутавр № 40, $W_x = 953{,}0$ [см^3]. Его момент инерции $J_x = 19062$ [см^4].

5. Находим максимальные напряжения изгиба $\sigma_{max} = M_{max}/W_x = 1{,}625 \cdot 10^5/9{,}53 \cdot 10^{-4} = 1{,}71 \cdot 10^8$ [Н/м^2] $= 171$ [МПа]. Определяем коэффициент запаса прочности по допускаемым напряжениям

$$k_{[\sigma]} = [\sigma]/\sigma_{max} = 2 \cdot 10^8/1{,}71 \cdot 10^8 = 1{,}17.$$

6. Уравнение упругой линии балки $y(z)$:

$$Y(z) = \theta_0 \cdot z + R_1 \cdot z^3/(6 \cdot E \cdot J_x) - \\ - q \cdot z^4/(24 \cdot E \cdot J_x) + P_1(z - l_1)^3/(6 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(z - l_1) + \\ + P_2 \cdot (z - l_1 - l_2)^3/(6 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(z - l_1 - l_2) - \\ - M(z - l_1 - l_2 - l_3)^2/(2 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(z - l_1 - l_2 - l_3) + \\ + q(z - l_1 - l_2 - l_3)^4/(6 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(z - l_1 - l_2 - l_3),$$

где θ_0 – неизвестный угол поворота балки на левой опоре; $H(z)$ – функция Хевисайда. $H(z) = \begin{cases} 0, & при\ z < 0 \\ 1, & при\ z \geq 0 \end{cases}$. Её график приведён на рис. 4.8.

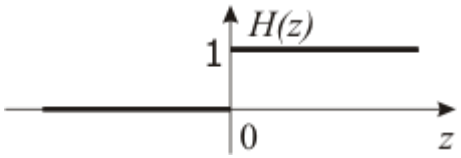


Рис. 4.8. Функция Хевисайда

Начало координат взято на левой опоре.

7. Угол θ_0 поворота на левой опоре находим из условия отсутствия прогиба на правой опоре:

$$Y(L) = \theta_0 \cdot L + R_1 \cdot L^3/(6 \cdot E \cdot J_x) - \\ - q \cdot L^4/(24 \cdot E \cdot J_x) + P_1(L - l_1)^3/(6 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(L - l_1) + \\ + P_2(L - l_1 - l_2)^3/(6 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(L - l_1 - l_2) - \\ - M(L - l_1 - l_2 - l_3)^2/(2 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(L - l_1 - l_2 - l_3) + \\ + q(L - l_1 - l_2 - l_3)^4/(24 \cdot E \cdot J_x) \cdot H(L - l_1 - l_2 - l_3) = 0.$$

Решаем линейное уравнение относительно неизвестного угла θ_0:

$$\theta_0 = (-R_1 L^3/(6EJ_x) + qL^4/(24EJ_x) - P_1(L - l_1)^3/(6EJ_x) - \\ - P_2(L - l_1 - l_2)^3/(6EJ_x) + M(L - l_1 - l_2 - l_3)^2/(2EJ_x) - \\ - q(L - l_1 - l_2 - l_3)^4/(24EJ_x))/L = \\ = (-50 \cdot 10^3 \cdot 11^3/(6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}) + \\ + 20 \cdot 10^3 \cdot 11^4/(24 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}) - \\ - 40 \cdot 10^3(11 - 2)^3/(6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}) - \\ - 40 \cdot 10^3(11 - 2 - 2{,}5)^3/(6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}) + \\ + 50 \cdot 10^3(11 - 2 - 2{,}5 - 3{,}5)^3/(2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}) - \\ - 20 \cdot 10^3(11 - 2 - 2{,}5 - 3{,}5)^4/(24 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4}))/11 = \\ = -0{,}0129 \text{ [рад]}.$$

8. Находим упругую линию. Вычисляем жёсткость при изгибе

$$EJ_x = 2 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}9062 \cdot 10^{-4} = 3{,}81 \cdot 10^7 \quad [\text{Н·м}^2].$$

Чтобы найти прогиб в середине участка 3, подставим в уравнение упругой линии координату этой середины

$$z = l_1 + l_2 + l_3/2 = 2 + 2{,}5 + 3{,}5/2 = 6{,}25 \text{ [м]}.$$

Получаем

$$Y(6{,}25) = -0{,}0129 \cdot 6{,}25 + 50 \cdot 10^3 \cdot 6{,}25^3/(6 \cdot 3{,}81 \cdot 10^7) - \\ -20 \cdot 10^3 \cdot 6{,}25^4/(24 \cdot 3{,}81 \cdot 10^7) + \\ +40 \cdot 10^3(6{,}25-2)^3/(6 \cdot 3{,}81 \cdot 10^7) \cdot H(6{,}25-2) + \\ +40 \cdot 10^3(6{,}25-2-2{,}5)^3/(6 \cdot 3{,}81 \cdot 10^7) \cdot H(6{,}25-2-2{,}5) = \\ = 0{,}0465 \text{ [м]}.$$

В двух последних членах уравнения упругой линии аргументы функции $H(z)$ отрицательны и $H(z) = 0$. Подобные вычисления проведены для границ и середин всех участков. Упругая линия построена на рис. 4.7, *и*. Величина максимального прогиба 4,71 [см] и не превышает допустимый прогиб, равный $L|200 = 1100/200 = 5{,}5$ [см]. Следовательно, жесткость данной балки достаточна.

Задача № 5. Геометрические характеристики плоского симметричного сечения

Для симметричного сечения, составленного из прокатных профилей, найти площадь, осевые моменты инерции, моменты сопротивления изгибу и радиусы инерции сечения относительно главных центральных осей. Схемы сечений приведены на рис. 5.1, номера прокатных профилей и размеры поперечных сечений указаны в табл. 5.1.

Совместная работа прокатных профилей в составных сечениях, данных на схемах I, II, III и IX рис. 5.1, обеспечена соединительными планками, показанными пунктиром.

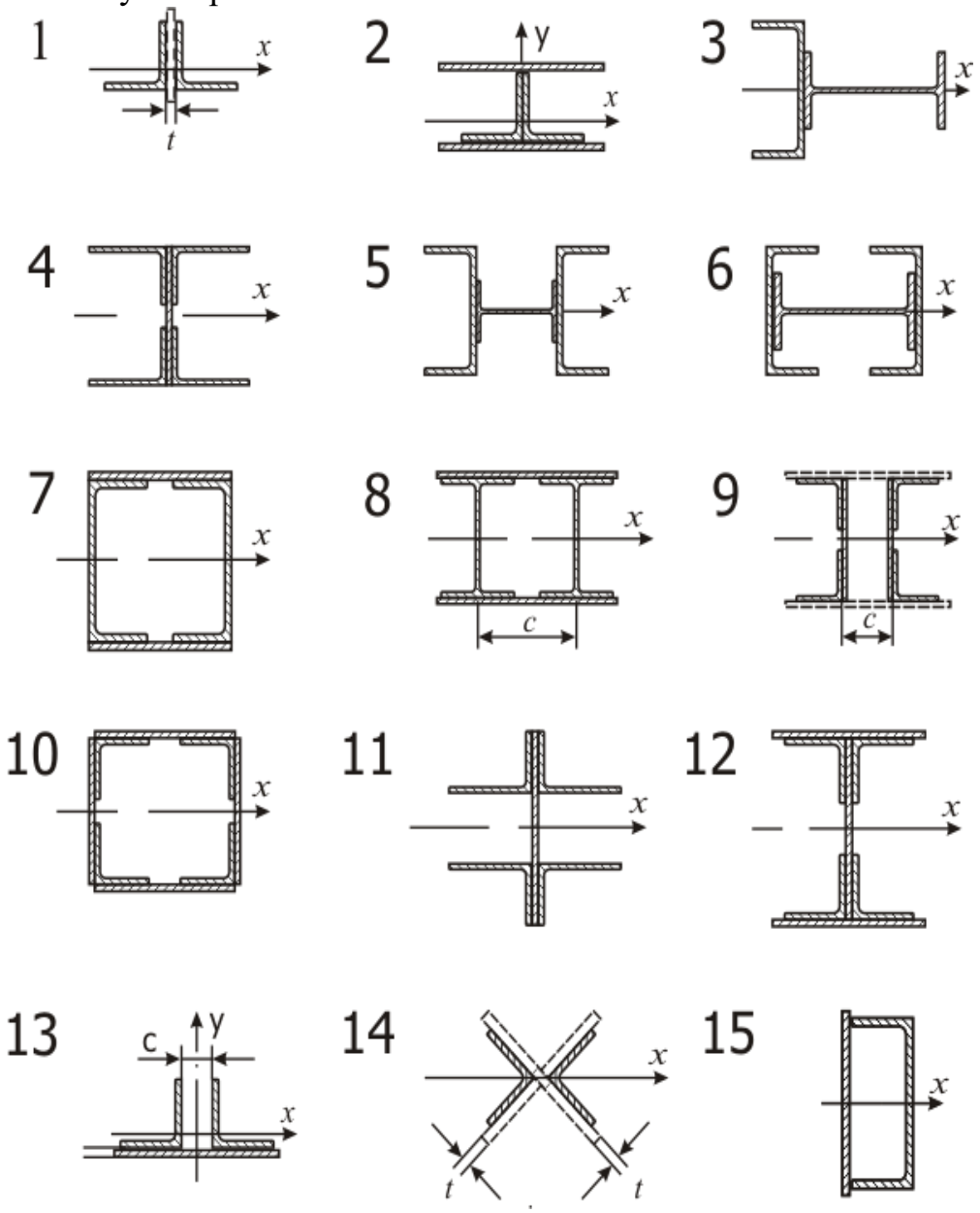


Рис. 5.1. Схемы поперечных сечений 1 – 15

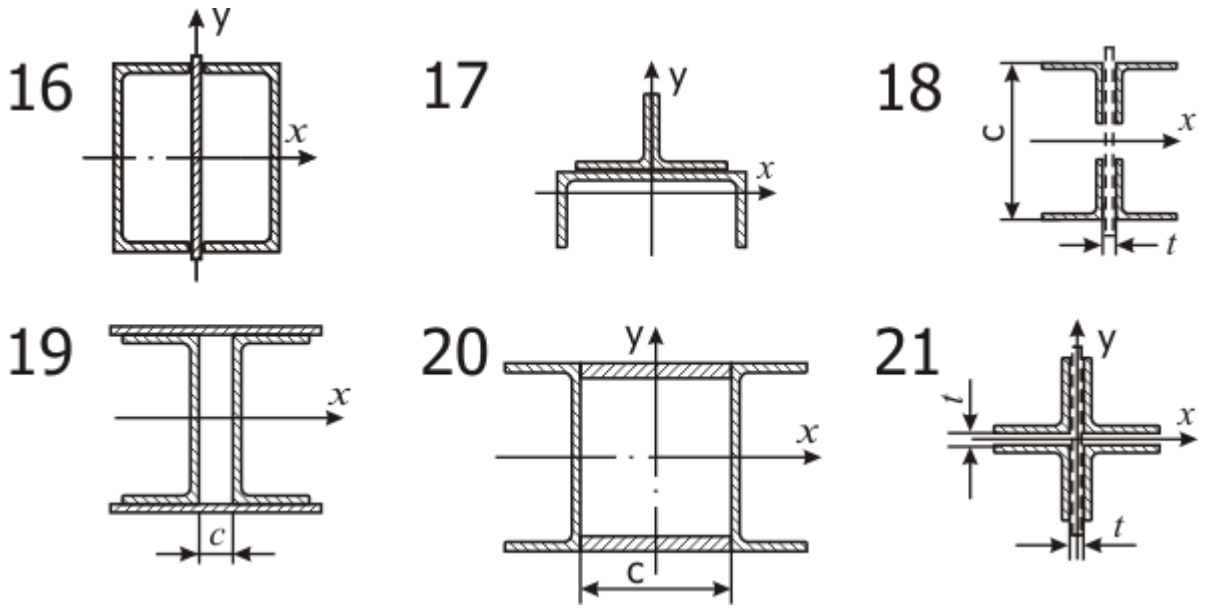


Рис. 5.2. Схемы поперечных сечений 16– 21

Исходные данные к задаче 5 Табл. 5.1

Схема 1			
Задание номер	1	22	43
Состав сечения	2 уголка 100х100х10 $t = 10$	2 уголка 80х80х8 $t = 8$	2 уголка 180х180х12 $t = 12$
Схема 1			
Задание номер	64	–	–
Состав сечения	2 уголка 125х125х10 Планка $t = 10$	–	–
Схема 2			
Задание номер	2	23	44
Состав сечения	2 уголка 100х100х10 2 листа 250х10	2 уголка 125х125х9 2 листа 200х8	2 уголка 180х180х12 2 листа 300х12
Схема 3			
Задание номер	3	24	45
Состав сечения	Швеллер № 18 Двутавр № 20	Швеллер № 14 Двутавр № 16	Швеллер № 24 Двутавр № 27
Схема 4			
Задание номер	4	25	46
Состав сечения	4 уголка 140х90х10 Лист 240х12	4 уголка 110х70х8 Лист 200х10	4 уголка 200х125х14 Лист 240х12
Схема 5			
Задание номер	5	26	47
Состав сечения	2 швеллера № 36 Двутавр № 16	2 швеллера № 30 Двутавр № 14	2 швеллера № 24 Двутавр № 12

Схема 6			
Задание номер	6	27	48
Состав сечения	2 швеллера № 33 Двутавр № 16	2 швеллера № 27 Двутавр № 14	2 швеллера № 22 Двутавр № 12

Продолжение табл. 5.1

Схема 6			
Задание номер	6	27	48
Состав сечения	2 швеллера № 33 Двутавр № 16	2 швеллера № 27 Двутавр № 14	2 швеллера № 22 Двутавр № 12
Схема 7			
Задание номер	7	28	49
Состав сечения	2 швеллера № 36 2 листа 300х12	2 швеллера № 30 2 листа 250х10	2 швеллера № 24 2 листа 200х8
Схема 8			
Задание номер	8	29	50
Состав сечения	2 двутавра № 36 2 листа 300х12 $c = 180$	2 двутавра № 30 2 листа 250х10 $c = 150$	2 двутавра № 24 2 листа 200х8 $c = 120$
Схема 9			
Задание номер	9	30	51
Состав сечения	4 уголка 50х50х5 2 листа 200х6 $c = 130$	4 уголка 90х90х8 2 листа 350х10 $c = 160$	4 уголка 125х125х10 2 листа 450х12 $c = 180$
Схема 10			
Задание номер	10	31	52
Состав сечения	4 уголка 70х70х6 4 листа 200х6	4 уголка 100х100х10 4 листа 250х10	4 уголка 125х125х12 4 листа 300х6
Схема 11			
Задание номер	11	32	53
Состав сечения	4 уголка 75х50х5 Лист 200х5	4 уголка 100х63х8 Лист 250х10	4 уголка 160х100х12 Лист 300х12
Схема 12			
Задание номер	12	33	54
Состав сечения	4 уголка 80х80х7 2 полки 250х10 Стенка 600х8	4 уголка 100х100х8 2 полки 300х12 Стенка 900х8	4 уголка 100х100х8 2 полки 350х12 Стенка 1200х10
Схема 13			
Задание номер	13	34	55
Состав сечения	2 уголка 80х80х7 Лист 220х8 $c = 40$	2 уголка 75х75х7 Лист 175х8 $c = 40$	2 уголка 125х125х10 Лист 320х12 $c = 50$
Схема 14			
Задание номер	14	35	56

Состав сечения	2 уголка 180х180х12 Планка $t = 10$	2 уголка 125х125х9 Планка $t = 10$	2 уголка 100х100х8 Планка $t = 10$
Схема 15			
Задание номер	15	36	57
Состав сечения	Швеллер № 14 Лист 150х5	Швеллер № 20 Лист 210х7	Швеллер № 33 Лист 340х8

Продолжение табл. 5.1

Схема 16			
Задание номер	16	37	58
Состав сечения	2 швеллера № 16 Лист 170х5	2 швеллера № 20 Лист 210х6	2 швеллера № 27 Лист 280х6
Схема 17			
Задание номер	17	38	59
Состав сечения	Швеллер № 12 2 уголка № 6,5	Швеллер № 18 2 уголка № 8	Швеллер № 27 2 уголка № 12,5
Схема 18			
Задание номер	18	39	60
Состав сечения	4 уголка 80х80х7 c =320; $t = 8$	4 уголка 110х110х8 c =650; $t = 10$	4 уголка 140х140х12 $c = 950$; $t = 12$
Схема 19			
Задание номер	19	40	61
Состав сечения	2 швеллера № 16 2 листа 80х8; $c = 80$	2 швеллера № 24 2 листа 120х10; $c = 120$	2 швеллера № 36 2 листа 160х10; $c = 160$
Схема 20			
Задание номер	20	41	62
Состав сечения	2 швеллера № 16 2 листа 80х8; $c = 80$	2 швеллера № 24 2 листа 120х10; $c = 120$	2 швеллера № 36 2 листа 160х10; $c = 160$
Схема 21			
Задание номер	21	42	63
Состав сечения	4 уголка 160х160х14 $t = 12$	4 уголка 63х63х5 $t = 6$	4 уголка 110х110х8 $t = 10$

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 5

Найти главные оси сечения, составленного из уголков стальных горячекатанных равнополочных 75 х 75 х 8 ГОСТ 8509 – 93 и двух уголков стальных горячекатанных неравнополочных 100 х 63 х 8 ГОСТ 8510 – 86

(рис. 5.2). Высота сечения $h = 300 = 30{,}0$ см. Толщина соединительной планки $\delta = 8 = 0{,}8$см. Вычислить относительно этих осей главные моменты инерции, моменты сопротивления и радиусы инерции.

Для работы составного сечения как жёсткого целого, уголки соединены планками, показанными на рис. 5.2 пунктиром. Расстояние между планками выбирается равным $40\, i_{min}$. При вычислении геометрических характеристик составного сечения соединительные планки не учитываются.

РЕШЕНИЕ

1.Вычерчиваем поперечное сечение в масштабе (рис. 5.3). Прокатные радиусы и сварные швы на рис. 5.2 не указываем.

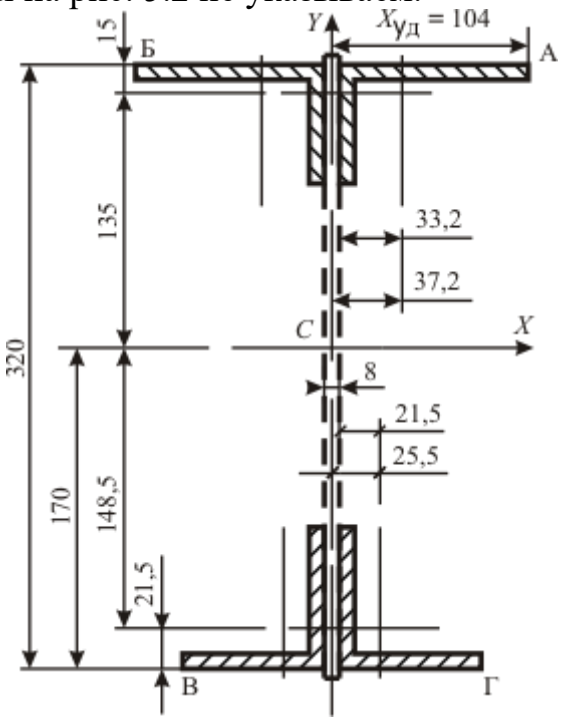


Рис. 5.3. Сечение составной балки

2. Приводим чертёжи прокатных профилей, взятые из ГОСТ 8509-93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент» (рис. 5.4,а) и ГОСТ 8510-86 «Уголки стальные горячекатаные не равнополочные. Сортамент» (рис. 5.4,б).

На рис. 5.4 внесены следующие изменения по сравнению с чертежами ГОСТ: не указаны прокатные радиусы R и r уголков; главные оси равнополочного уголка обозначены u, v вместо x_0, y_0; размеры, оси, координаты центра масс, относящиеся к равнополочному уголку, помечены нижним индексом 1, а к неравнополочному уголку – нижним индексом 2, соответственно.

Выписываем из ГОСТ длины и толщины полок уголков. Размеры переводим из миллиметров в сантиметры.

Уголок равнополочный: ширина полки – $b_1 = 75$мм $= 7{,}5$см, толщина – $t_1 = 0{,}8$ см, расстояние от внешней грани полки до центра масс – $x_0 = 2{,}15$ см,

площадь – $F_1 = 11{,}50$ см^2, моменты инерции относительно центральных осей x_1 и y_1, параллельных полкам – $J_{x1} = 59{,}84$ см^4.

Уголок неравнополочный: ширина длинной полки $-B = 100 = 10$ см, ширина короткой полки $-b_2 = 63$ мм $= 6{,}3$ см, толщина полок – $t = 8$ мм $= 0{,}8$ см, расстояние от внешней грани длинной полки до центра масс – $x_0 = 1{,}50$ см, расстояние от внешней грани короткой полки до центра масс – $y_0 = 3{,}32$ см,площадь сечения – $F_2 = 12{,}57$ см^2, момент инерции сечения относительно оси x– $J_{x2} = 126{,}96$ см^4,момент инерции сечения относительно оси $J_{y2} = 39{,}21$ см^4.

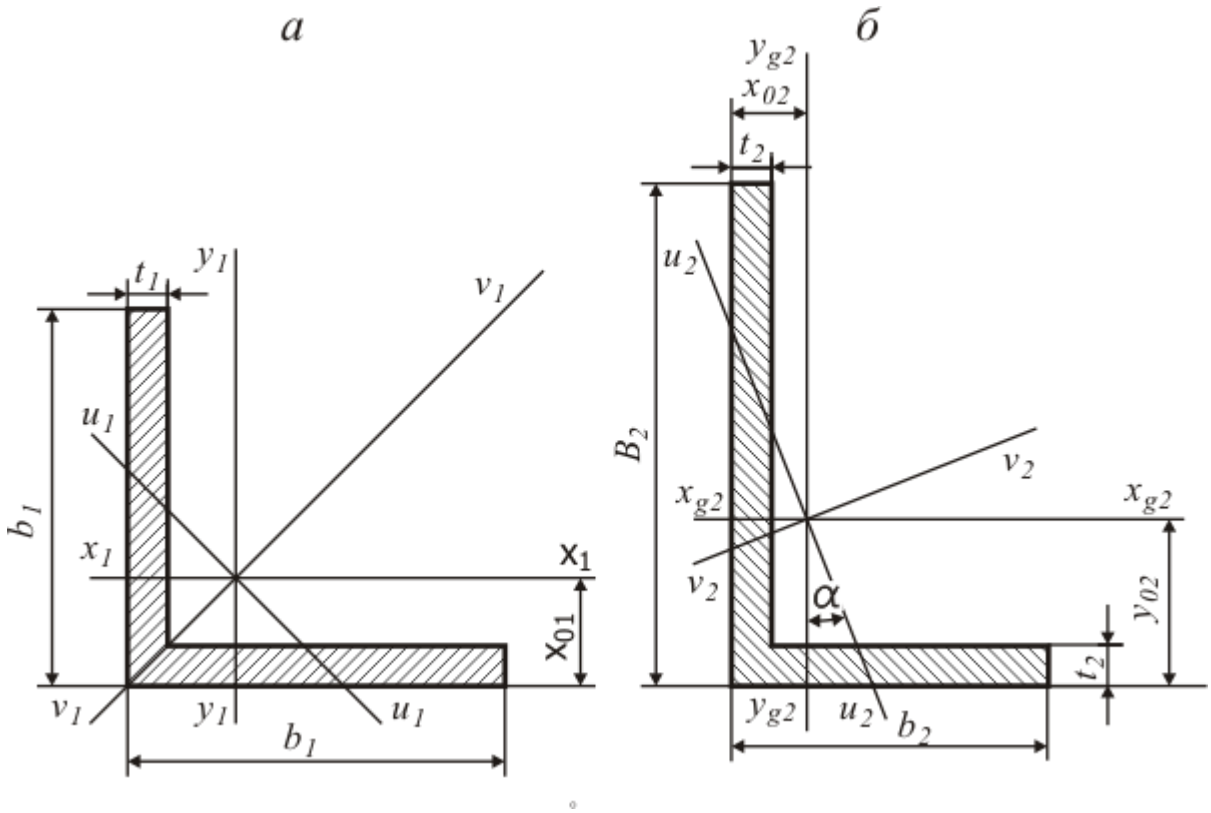


Рис. 5.4. Составные части поперечного сечения балки: а – равнополочный уголок ГОСТ 8509-93; б – неравнополочный уголок ГОСТ 8510-86.

В сопротивлении материалов расчёты выполняют с точностью 5%. Эту точность обеспечивают три первых значащих цифры. Значащими цифрами числа называются все цифры в его записи, начиная с первой ненулевой слева. Отсчёт начинают с первой, отличной от нуля. Для J_{x2} достаточно принять $J_{x2} = 127$, но при оформлении расчётов величины нужно записывать так, как они заданы в официальных документах $J_{x2} = 126{,}96$.

3. Площадь поперечного сечения равна

$$F = k_1F_1 + k_2F_2 = 2 \cdot 11{,}50 + 2 \cdot 12{,}57 = 48{,}1 \text{ см}^2.$$

4. Ищем координаты центра масс сечения. Вертикальная ось CY является осью симметрии сечения. Любая ось симметрии сечения является его главной осью. Центр масс лежит на оси симметрии, следовательно, $X_c = 0$. Статический момент сечения относительно горизонтальной оси X_H, проходящей через нижнюю грань равнополочного уголка, равен

$$S_{XH} = k_1 \cdot F_1 \cdot x_{01} + k_2 \cdot F_2 \cdot (h - x_{02}) =$$
$$= 2 \cdot 11{,}50 \cdot 2{,}15 + 2 \cdot 12{,}57 \cdot (30 - 1{,}50) = 816 \text{ см}^3.$$

Расстояние от нижней грани равнополочного уголка до центра масс сечения равно $Y_c = S_{XH}/F = 816/48{,}1$=17,0 см. Центр масс сечения обозначаем буквой C и указываем на рис. 5.3.

5. Строим главные центральные оси сечения. Для этого, через точку C проводим ось CX, перпендикулярную оси CY. В качестве положительного на оси CX выберем направление слева направо, а на оси CY положительным будем считать направление снизу вверх. Оси CXYявляются главными центральными осями сечения.

Расстояние от верхних граней неравнополочных уголков до оси CX равно $Y_в = h - Y_c = 30 - 17{,}0 = 13{,}0$ см. Крайние точки Л и П длинных полок неравнополочных уголков удалены от оси CY на расстояние $|X_л| = X_п = = \delta/2 + B = 0{,}8/2 + 10{,}0 = 10{,}4$ см.

Координаты центров масс уголков в системе осей CXY :

$$Y_1 = -Y_C + x_{01} = -17{,}0 + 2{,}15 = -14{,}8 \text{ см},$$

$$Y_2 = h - Y_C - x_{02} = 30{,}0 - 17{,}0 - 1{,}50 = 13{,}5 \text{ см},$$

$$X_1 = \delta/2 + x_{01} = 0{,}8/2 + 2{,}15 = 2{,}55 \text{ см},$$

$$X_2 = \delta/2 + x_{02} = 0{,}8/2 + 3{,}32 = 3{,}72 \text{см}.$$

6. Осевые моменты инерции сечения вычисляем по формуле Гюйгенса

$$J_X = \sum_{i=1}^{K} \left(J_{xi} + F_i \cdot a_i^2\right),$$

где K – количество элементов в сечении; J_{xi} – момент инерции относительно центральной оси элемента i, параллельной оси X; F_i – площадь элемента i; a_i – расстояние между осью X и параллельной ей центральной осью элемента i.

Учитываем, что неравнополочный уголок повёрнут относительно изображения, показанного на на рис. 5.4, на 90° (или 270°) относительно чертежа из ГОСТ. Параллельной для оси *CX* является местная центральная ось $\boldsymbol{y_2}$, а для оси *CY* параллельной будет местная центральная ось $\boldsymbol{x_2}$.
Получаем:

$$J_X = k_1 \cdot (J_{x1} + F_1 \cdot Y_1^2) + k_2 \cdot \left(J_{y2} + F_2 \cdot Y_2^2\right) = 2 \cdot (59{,}84 + 11{,}50 \cdot ((-14{,}8)^2) +$$

$$+2 \cdot (39{,}21 + 12{,}57 \cdot 13{,}5^2) = 9850 \text{ см}^4;$$

$$J_Y = k_1 \cdot \left(J_{y1} + F_1 X_1^2\right) + k_2 \cdot (J_{x2} + F_2 X_2^2) = 2 \cdot (59{,}84 + 11{,}50 \cdot 2{,}55^2) +$$

$$2 \cdot (126{,}96 + 12{,}57 \cdot 3{,}72\text{^}2) = 871 \text{ см}^4.$$

7.Ось $\boldsymbol{CY}$ является осью симметрии сечения. Осевой момент сопротивления для оси $\boldsymbol{CY}$ равен $\boldsymbol{W_Y = J_Y / X_{max} = 871/10{,}4 = 83{,}8}$ см^3.

Здесь $\boldsymbol{X_{max} = |X_л| = |X_л| = X_п = 10{,}4}$ см – расстояние до оси $\boldsymbol{CY}$ от крайних левых и правых волокон.

Главная ось $\boldsymbol{CX}$ не является осью симметрии. Момент сопротивления изгибу для нижних волокон $\boldsymbol{W_{Xн} = J/Y_н = 9850/17{,}0 = 581}$ см^3 . Для верхних волокон получаем $\boldsymbol{W_{Xв} = J_X / Y_в = 9850/13{,}0 = 655}$ см^3.

8. Радиус инерции сечения относительно оси определяется по формуле

$$\boldsymbol{i = \sqrt{J/F}}.$$

Для заданного сечения получаем $\boldsymbol{i_X = \sqrt{J_X/F = \sqrt{9850/48{,}1 = 14{,}3}}}$ см,

$\boldsymbol{i_Y = \sqrt{J_Y/F = \sqrt{871/48{,}1 = 4{,}25}}}$ см.

Задача № 6. Расчёт статически неопределимых стержневых систем

Для заданной статически неопределимой системы определить допускаемое значение силы P при допускаемом напряжении для стальных стержней $[\sigma]=160$ МПа.

Плита BC схемы (рис.6.1) абсолютно жесткая.

На рисунке 6.1 изображена абсолютно жесткая балка BC, нагруженная посередине силой P. Балка удерживается в горизонтальном положении шарнирно – подвижной опорой C и тремя стальными стержнями. Заданы площади сечений стержней A_1= 4 см^2; A_2 = 3 см^2; A_3 = 2 см^2. Определить допускаемое значение силы P , если допускаемое напряжение для материала стержней, равное $[\sigma]$ = 160МПа , одинаково при растяжении и сжатии.

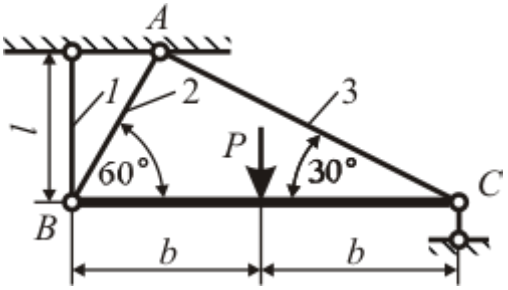


Рис.6.1. Статически неопределимая система

РЕШЕНИЕ

Допускаемая нагрузка (сила P) определяется по условию прочности наиболее напряженного стержня. Полагая значение силы P известным, найдем напряжения в сечениях стержней системы, выразив их через силу P. Исходные данные для решения задач приведены в табл.6.1 и рис.6.

Мысленно рассекаем стержни и, полагая стержни растянутыми, изображаем силы, приложенные к отсеченной части (рис. 1.5).

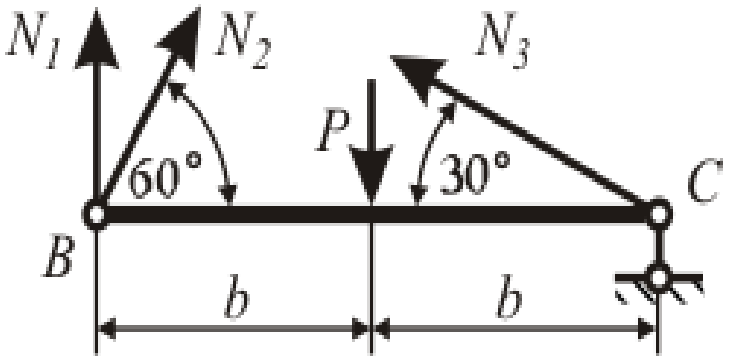


Рис.6.2. Уравновешенная система сил

Уравнения равновесия

$$\begin{aligned} &\Sigma X_i = 0; \quad N_2 \cos 60^\circ - N_3 \cos 30^\circ = 0. \\ &\Sigma Y_i = 0; \quad N_1 + N_2 \sin 60^\circ + N_3 \sin 30^\circ + Y_C - P = 0. \\ &\Sigma m_c = 0; \quad N_1 \cdot 2\hat{a} + N_2 \cdot 2\hat{a} \sin 60^\circ - P\hat{a} = 0. \end{aligned} \qquad (6.1)$$

Система (6.1) содержит 4 неизвестных величины: N_1, N_2, N_3 и Y_c. Лишь второе уравнение содержит реакцию опоры C, величина которой не влияет на значение допускаемой нагрузки, а потому ограничимся первым и третьим уравнениями.

Двух уравнений системы (6.1) недостаточно для определения трех продольных сил. Необходимо дополнить их уравнением совместности деформаций. По условию задачи брус BC является абсолютно жестким. Значит, перемещение системы осуществляется лишь за счет деформации стержней. Опора C допускает только горизонтальное смещение узла C. Следует учесть, что истинные перемещения точек B и C в сотни раз меньше размеров бруса BC. Поэтому перемещения точек стержней при их поворотах изображены не дугами окружностей, а прямыми отрезками, перпендикулярными стержням. Заметим, что стержень 3 по предположению растянут, но на рисунке изображено его укорочение, значит изображенная деформация его не Δl_3, а – Δl_3.

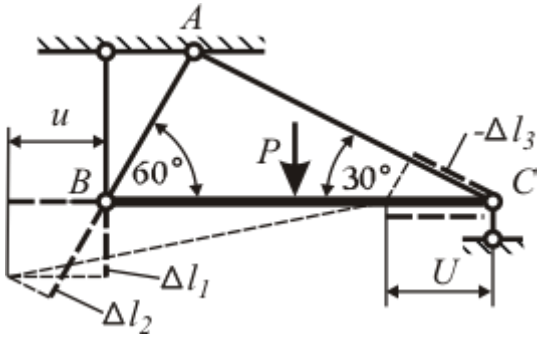


Рис.6.3. Деформации и перемещения

По рисунку 6.3

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 \cos 30^\circ + u \cos 60^\circ .$$

При $u = -\Delta l_3 / \cos 30^\circ$ получаем геометрическую связь деформаций

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 \cos 30^\circ - \Delta l_3 tg 30^\circ . \qquad (6.2)$$

В соответствии с законом Гука

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA_1} = \frac{N_1 l}{EA_1},$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA_2} = \frac{N_2 l}{EA_2 \sin 60^\circ}, \qquad (6.3)$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 l_3}{EA_3} = \frac{N_3 l}{EA_3 \sin 30^\circ}.$$

Подстановкой выражений (6.3) в равенство (6.2) получим уравнение, дополняющее систему(6.1).

$$\frac{N_2 l}{EA_2 \sin 60^\circ} = \frac{N_1 l}{EA_1} \cos 30^\circ - \frac{N_3 l}{EA_3 \sin 30^\circ} tg 30^\circ. \qquad (6.4)$$

После подстановки значений A_1, A_2, A_3и упрощения уравнений (6.1) и (6.3) получим систему

$$\begin{aligned} &N_2 - 1,732 N_3 = 0; \\ &N_1 + 0,866 N_2 = 0,5P; \\ &9N_1 - 16N_2 - 24N_3 = 0. \end{aligned} \qquad (6.5)$$

Решение уравнений (6.5)

$N_1 = 0,396P$, $N_2 = 0,119P$, $N_3 = 0,069P$.

При заданных сечениях стержней

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{0,396P}{4} = 0,0991P;$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{0,119P}{3} = 0,0398P;$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{0,069P}{2} = 0,0395P.$$

Наибольшее напряжение

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = 0,0991P.$$

По условию прочности $\sigma_{\max} \le [\sigma]$ допускаемая нагрузка

$$[P] = \frac{[\sigma]}{0,0991} = \frac{16}{0,0991} = 161 \text{ кН}.$$

$$[P] = 161 \text{ кН}.$$

Исходные данные сведены в табл. 6.1, расчетные схемы даны на рис.6.4.

Таблица 6.1.

Исходные данные для задачи №6

№	Площадь сечения стержней, см^2			Номер схемы	№	Площадь сечения стержней, см^2			Номер схемы
	A_1	A_2	A_3			A_1	A_2	A_3	
1	2	3	4	1	26	4	2	1	6
2	3	4	2	2	27	6	3	2	5
3	5	6	7	3	28	8	4	3	4
4	6	7	5	4	29	10	5	4	3
5	3	17	1	5	30	1	6	5	2
6	4	1	2	6	31	2	7	6	1
7	5	6	3	7	32	12	8	7	2
8	6	15	4	8	33	14	9	8	4
9	7	15	5	9	34	16	16	9	6
10	8	14	6	10	35	3	16	10	8
11	9	13	7	2	36	5	15	11	10
12	10	12	8	4	37	7	14	12	9
13	11	8	9	6	38	9	13	13	7
14	12	9	10	8	39	11	12	14	5
15	13	7	11	10	40	13	11	15	3
16	14	6	12	1	41	15	10	16	1
17	15	5	13	3	42	7	9	14	10
18	16	4	17	5	43	5	8	13	9
19	3	12	16	7	44	3	7	12	8
20	4	11	15	9	45	1	6	11	7
21	5	12	14	10	46	2	5	10	6
22	6	13	13	9	46	6	4	9	5
23	6	14	12	8	48	8	3	8	4
24	7	15	11	7	49	4	2	7	3
25	9	12	10	3	50	4	25	11	6

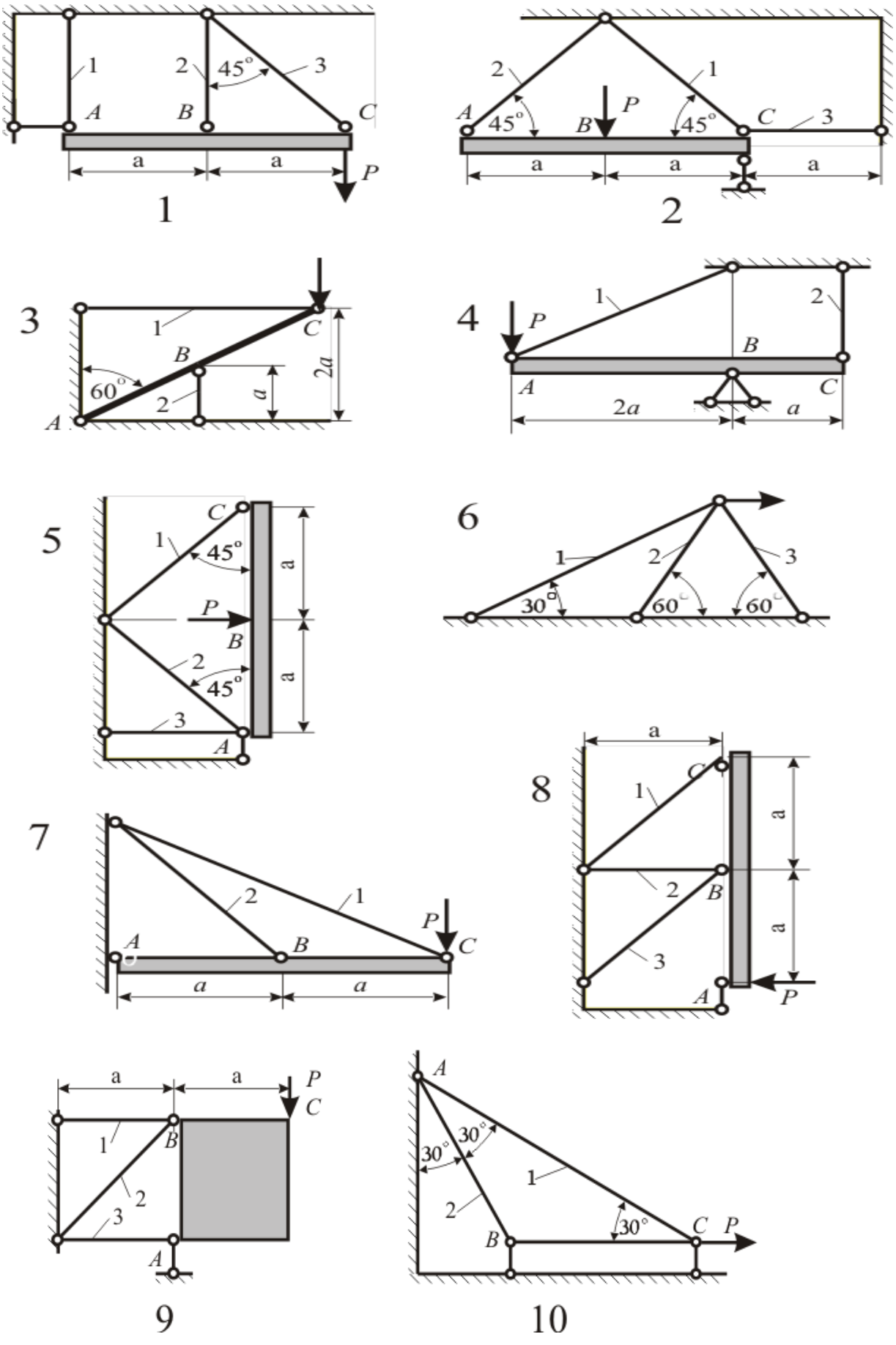


Рис.6.4. Схемы 1 – 10 стержневых систем

Задача № 7.Расчет статически неопределимых балок

Подобрать из условия прочности сечение многопролётной неразрезной балки (рис. 7.1 – 7.4). Сечение – двутавр ГОСТ 8239-89. Допускаемые напряжения стали $\sigma = 200$ [МПа]. Данные для расчёта взять из табл. 7.

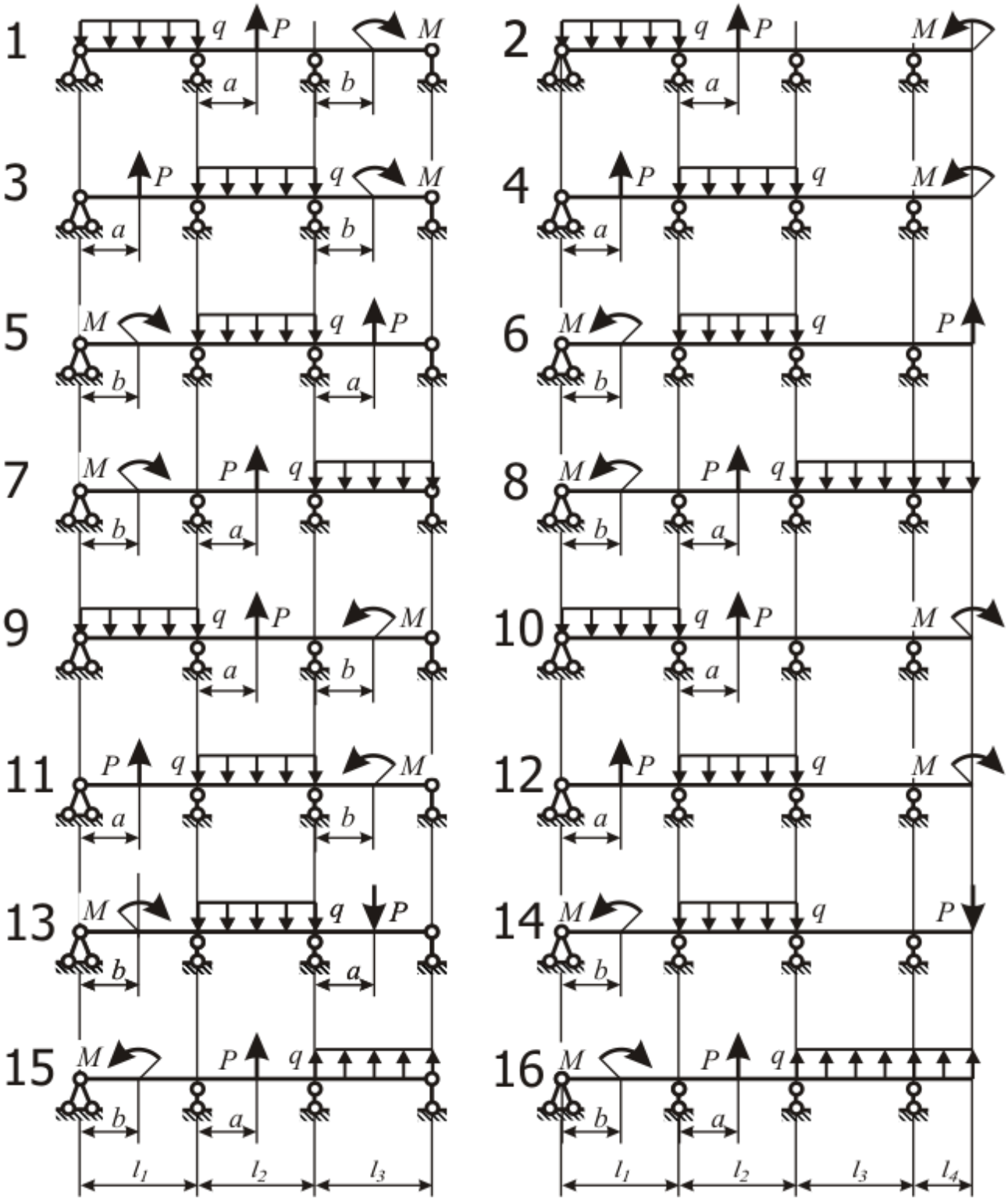


Рис. 7.1. Многопролётная неразрезная балка (варианты 1 – 16)

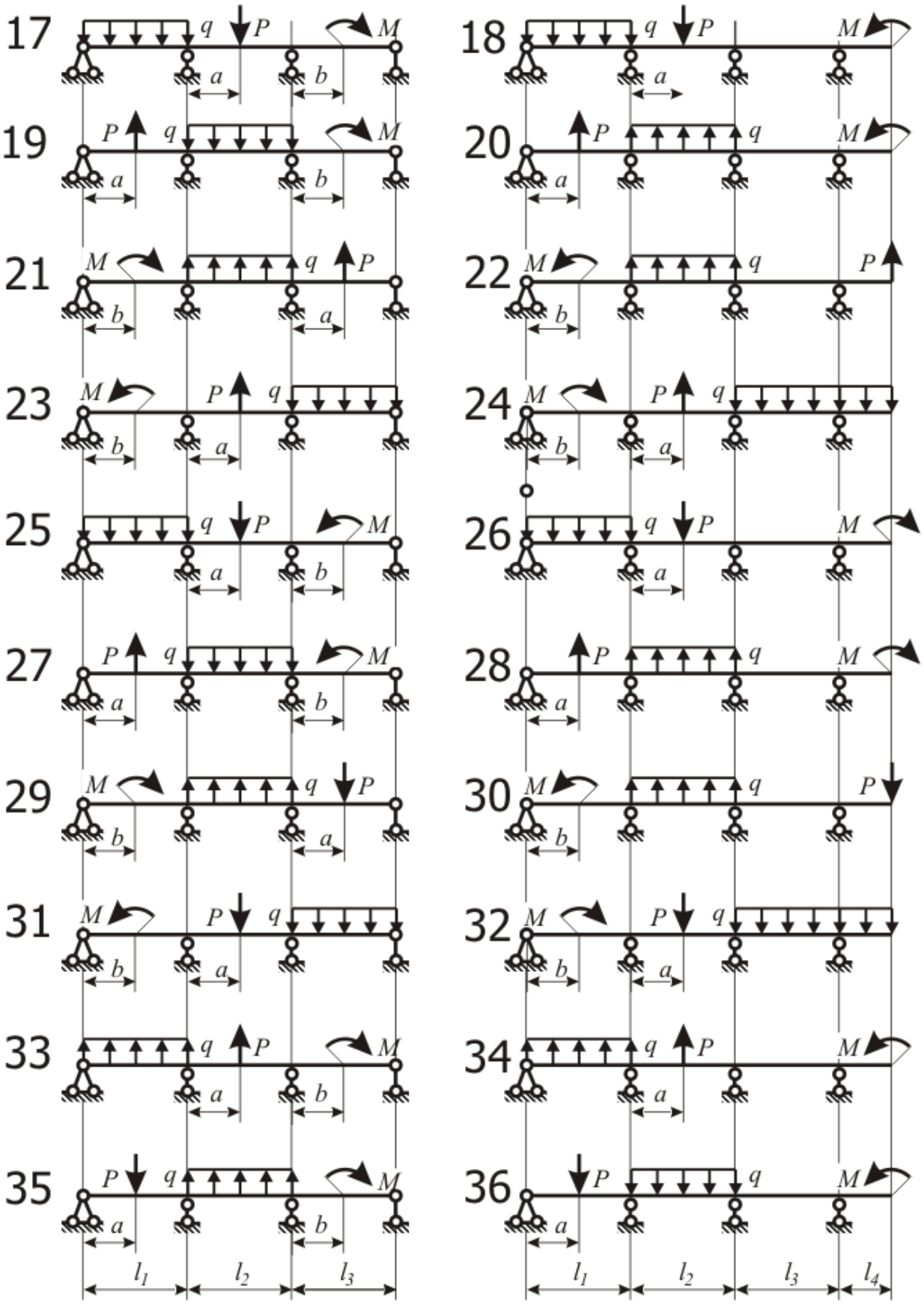


Рис. 7.2. Многопролётная неразрезная балка (варианты 17 – 36)

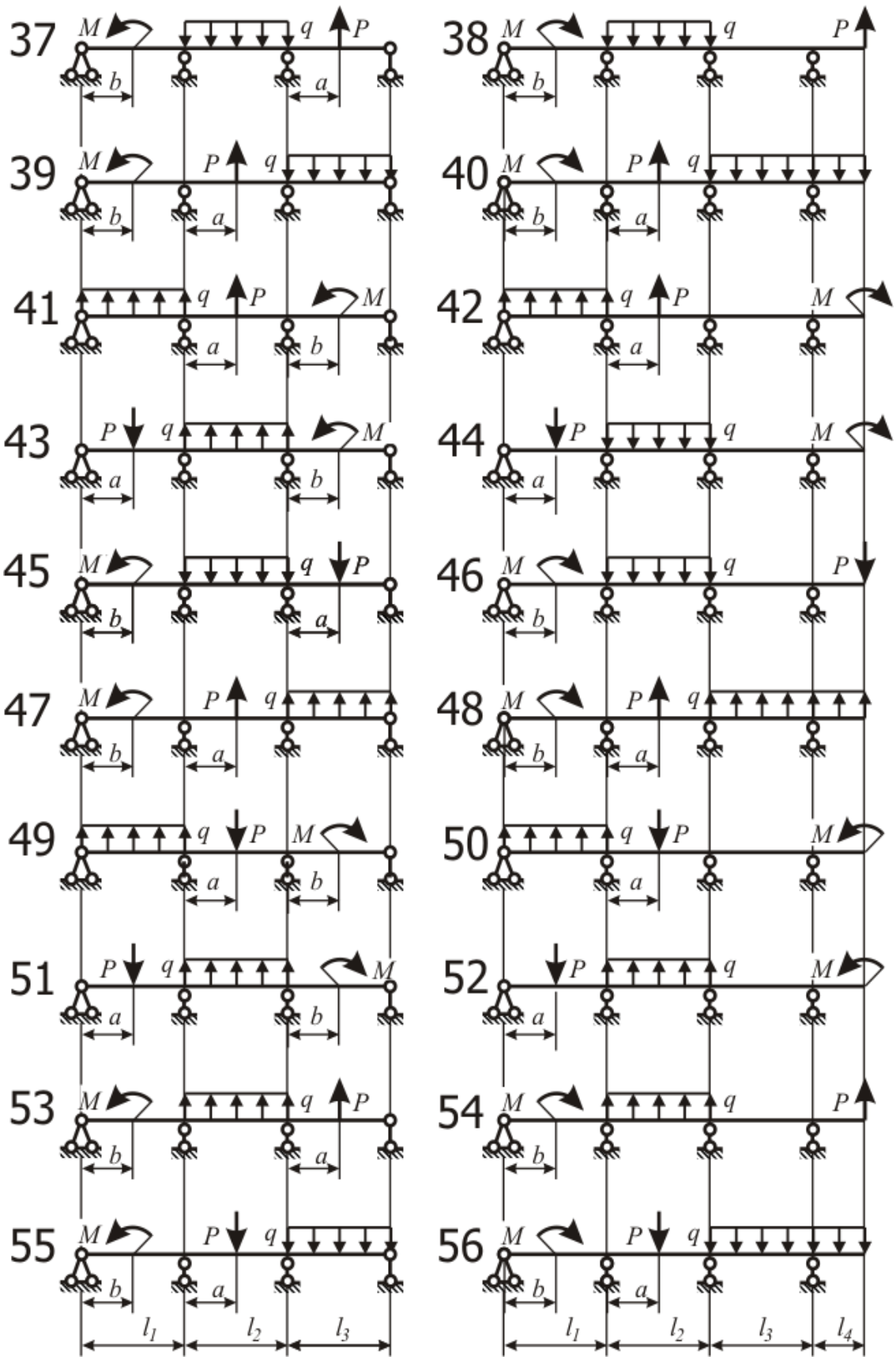


Рис. 7.3. Многопролётная неразрезная балка (варианты 37 – 56)

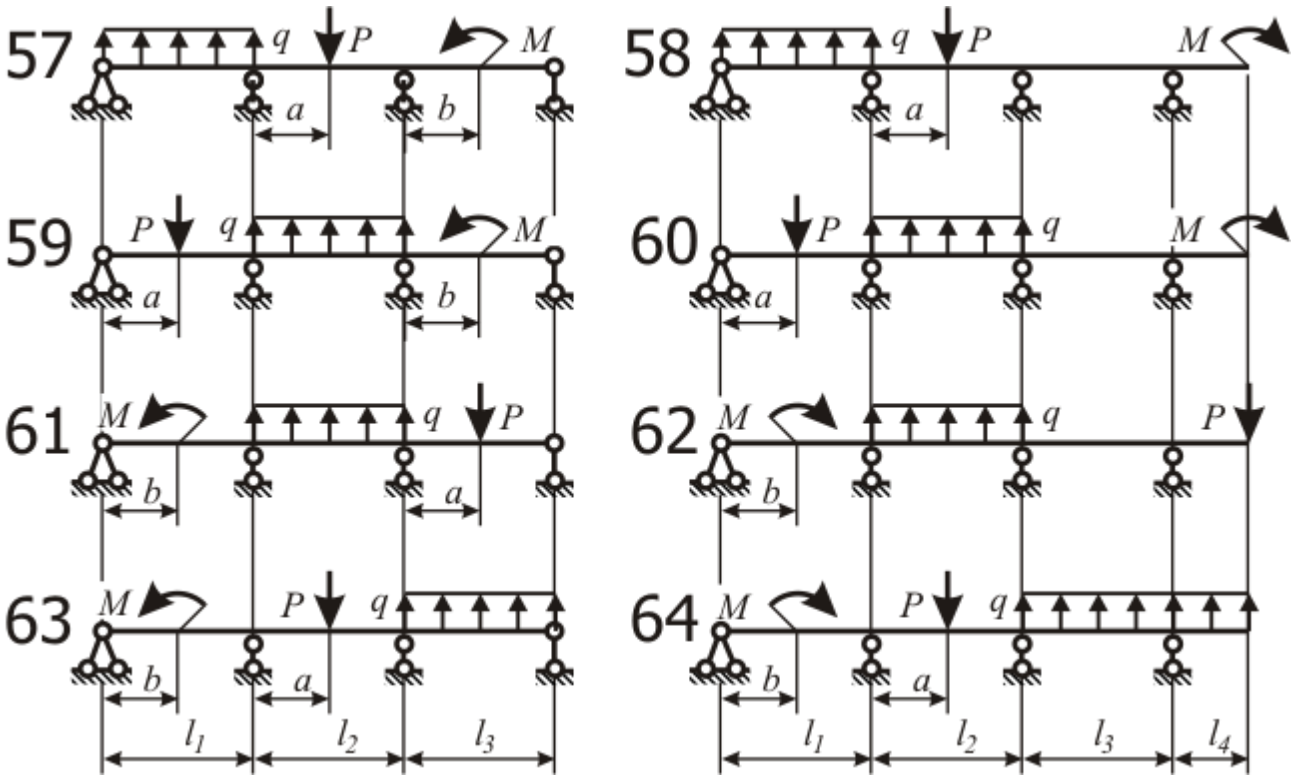


Рис. 7.4. Многопролётная неразрезная балка (варианты 57 – 64)

Исходные данные к задаче 7 Таблица 7

Номер задания	Длина участка, м				Нагрузка			Координата точки приложения, м	
	l_1	l_2	l_3	l_4	P, кН	M, кН·м	q, $^{Н}/_{м}$	силы, a	момента, b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,0	5,0	3,0	–	80	165	20	3,0	2,0
2	3,5	5,5	3,5	1,5	90	175	25	2,0	–
3	3,0	6,0	4,0	–	90	185	30	1,5	2,0
4	3,0	6,0	4,5	2,0	80	195	35	2,0	–
5	3,5	5,5	5,0	–	70	105	30	2,0	1,5
6	4,0	5,0	5,5	2,5	60	115	30	–	2,0
7	4,5	4,5	6,0	–	50	125	25	3,0	2,5
8	5,0	4,0	6,0	3,0	40	135	25	2,5	3,0
9	5,5	3,5	5,5	–	40	145	20	2,0	2,5
10	6,0	3,5	5,0	3,0	59	155	20	1,5	–
11	6,0	4,0	4,5	–	60	165	25	4,0	3,0
12	5,5	4,5	4,0	2,5	70	175	20	3,5	–
13	5,0	5,0	3,5	–	80	185	35	1,5	3,5
14	4,5	5,5	3,0	2,0	90	195	35	–	1,5
15	4,0	6,0	3,0	–	90	105	15	4,0	2,0
16	3,5	6,0	3,5	1,5	80	115	20	3,5	1,5
17	3,5	5,5	4,0	–	70	125	25	3,0	1,5
18	4,0	5,0	4,5	1,5	60	135	30	2,5	–
19	4,5	4,5	5,0	–	50	145	35	3,0	2,0

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	5,0	4,0	5,5	2,0	40	155	35	2,0	–
21	5,5	3,5	6,0	–	40	165	30	3,5	4,5
22	6,0	3,5	6,0	2,5	59	175	25	–	4,0
23	6,0	4,0	5,5	–	60	185	20	3,0	3,5
24	5,5	4,5	5,0	3,0	70	195	15	2,5	3,0
25	5,0	5,0	4,5	–	80	105	15	2,0	2,5
26	4,5	5,5	4,0	3,0	90	115	20	1,5	–
27	4,0	6,0	3,5	–	90	125	25	1,5	2,0
28	3,5	6,0	3,0	2,5	80	135	30	2,0	–
29	3,5	5,5	3,0	–	70	145	35	1,5	2,5
30	4,0	5,0	3,5	2,0	60	155	35	–	2,0
31	4,5	4,5	4,0	–	50	165	30	3,0	1,5
32	5,0	4,0	4,5	1,5	40	175	25	2,5	3,5
33	5,5	3,5	5,0	–	40	185	20	2,0	3,5
34	6,0	3,5	5,5	1,5	59	195	15	1,5	–
35	6,0	4,0	6,0	–	60	105	15	4,5	4,0
36	5,5	4,5	6,0	2,0	70	115	20	4,0	–
37	5,0	5,0	5,5	–	80	125	25	3,0	2,5
38	4,5	5,5	5,0	2,5	90	135	30	–	2,0
39	4,0	6,0	4,5	–	90	145	35	4,5	1,5
40	3,5	6,0	4,0	3,0	80	155	35	4,0	2,0
41	3,5	5,5	3,5	–	70	165	30	3,5	1,5
42	4,0	5,0	3,0	3,0	60	175	25	3,0	–
43	4,5	4,5	3,0	–	50	185	20	3,5	2,0
44	5,0	4,0	3,5	2,5	40	195	15	3,0	–
45	5,5	3,5	4,0	–	40	105	15	2,5	3,0
46	6,0	3,5	4,5	2,0	59	115	20	–	2,5
47	6,0	4,0	5,0	–	60	125	25	2,5	2,0
48	5,5	4,5	5,5	1,5	70	135	30	2,0	1,5
49	5,0	5,0	6,0	–	80	145	35	1,5	2,5
50	4,5	5,5	6,0	1,5	90	155	35	4,0	–
51	4,0	6,0	5,5	–	90	165	30	2,5	3,0
52	3,5	6,0	5,0	2,0	80	175	25	2,0	–
53	3,5	5,5	4,5	–	70	185	20	2,0	3,5
54	4,0	5,0	4,0	2,5	60	195	15	–	3,0
55	4,5	4,5	3,5	–	50	105	15	3,5	2,5
56	5,0	4,0	3,0	3,0	40	115	20	3,0	2,0
57	5,5	3,5	3,0	–	40	125	25	2,5	1,5
58	6,0	3,5	3,5	3,0	59	135	30	2,0	–
59	6,0	4,0	4,0	–	60	145	35	1,5	2,0
60	5,5	4,5	4,5	2,5	70	155	35	4,5	–
61	5,0	5,0	5,0	–	80	165	30	1,5	3,0
62	4,5	5,5	5,0	2,0	90	175	25	–	2,5
63	4,0	6,0	5,5	–	90	185	20	4,5	2,0
64	3,5	6,0	6,0	1,5	80	195	15	4,0	1,5

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 7

Раскрыть статическую неопределимость неразрезной трёхпролётной балки (рис. 7.5). Нагрузки и длину пролёта принять равными: $P = 20$ кН; $M = 20{,}0$ кНм; $q = 10{,}0$кН/м; $L = 2{,}00$ м. Построить эпюры внутренних силовых факторов.

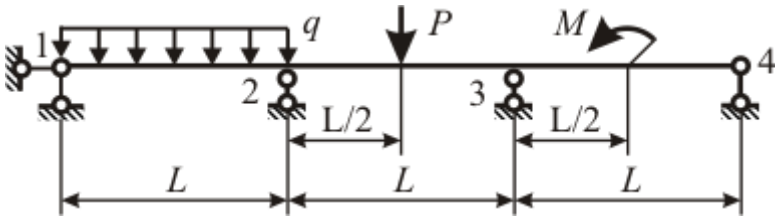


Рис. 7.5. Схема неразрезной балки

1. Чертим схему балки в масштабе (рис. 7.6, а). Нумеруем опорные узлы. Шарнирно неподвижную опору 1 изображаем в виде горизонтального и вертикального опорных стержней (1в) и (1г).

2. Находим степень статической неопределимости $N_{не}$ балки. Для этого определяем число опорных стержней $N_{ст} = 5$ (два опорных стержня в шарнирно неподвижной опоре 1 и по одному в шарнирно подвижных опорах 2, 3, 4). Из числа опорных стержней вычитаем число уравнений статики $N_{ур}$ (три – в рассматриваемом случае плоского изгиба балки).

Получаем $N_{не} = N_{ст} - N_{ур} = 5 - 3 = 2$.

Балка дважды статически неопределима.

3. Выбираем основную систему. Основная система должна быть статически определимой и неизменяемой. Чтобы балка (см. рис. 7.6, а) стала статически определимой, отбросим два любых вертикальных опорных стержня. Например, при удалении стержней 3 и 4 получаем основную систему, показанную на рис. 7.6, б. Если отбросить стержни 1в и 4, то основная система, примет вид, данный на рис. 7.6, в. Горизонтальный стержень 1г отбрасывать нельзя, так как при его удалении система становится изменяемой (рис. 7.6, г). Степень статической неопределимости системы можно понизить путём отбрасывания внутренних связей.

Выберем основную систему, указанную на рис. 7.6, б.

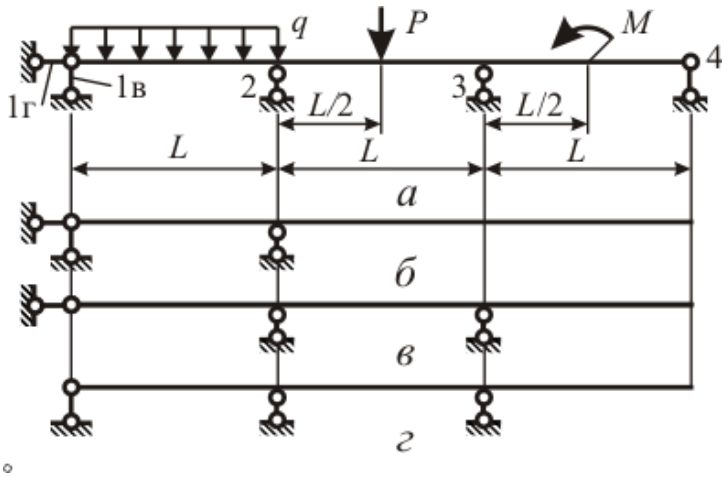


Рис. 7.6. К выбору основной системы

4. Эквивалентной системой называют основную систему, к которой приложены внешние нагрузки и неизвестные реакции отброшенных связей. Прикладываем неизвестные реакции X_1, X_2 в точках крепления отброшенных опорных стержней 4 и 3. Линии действия этих реакций совпадают с осями отброшенных стержней, направление реакций вдоль их линий действия выбираем произвольно. Если выбранное направление реакции не совпадёт с истинным, то полученное при раскрытии статической неопределимости значение избыточного неизвестного будет отрицательным. Эквивалентная система приведена на рис. 7.7.

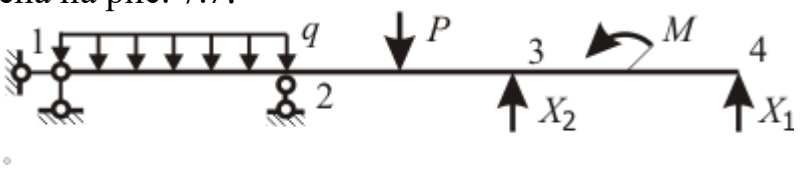


Рис. 7.7. Эквивалентная система

5. Идея раскрытия статической неопределимости методом сил состоит в следующем. Эквивалентная система деформируется так же, как исходная. Так как опорные стержни 3 и 4 являются абсолютно жёсткими, вертикальные перемещения точек 3 и 4 равны нулю. К уравнениям равновесия добавлены два дополнительных уравнения, из которых можно определить избыточные неизвестные X_1, X_2 (чаще их называют «лишними»).

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= 0, \\ y_2 &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (7.1)$$

Используя принцип независимости действия сил, представим перемещение каждой точки как сумму трёх перемещений: от силы X_1, от силы X_2иот внешней нагрузки. Система уравнений примет вид (7.5). Первый индекс указывает номер отброшенной связи, второй индекс указывает причину, вызывающую смещение в направлении этой связи.

$$\left.\begin{aligned} y_{11} + y_{12} + y_{1\varepsilon} &= 0, \\ y_{21} + y_{22} + y_{2\varepsilon} &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (7.2)$$

Перемещение $y_{i\varepsilon}$ по направлению отброшенной связи i, вызванное действующей на эквивалентную систему внешней нагрузкой, называют грузовым членом канонического уравнения и обозначают заглавной греческой буквой «дельта» $\Delta_i = y_{i\varepsilon}$.Его определяют с помощью интеграла перемещений

$$\Delta_i = \int_0^{3L} ((M_\varepsilon(z)\overline{M_i}(z))/(EJ))dz, \qquad (7.3)$$

Где: 3L – длина балки; $M_\varepsilon(z)$ – грузовой момент в балке (момент от внешней нагрузки); $\overline{M_i}(z)$ – единичный момент (момент от единичной силы, совпадающей по направлению с силой X_i и приложенной в той же точке i); EJ(z) – изгибная жёсткость балки.

6. Строим эпюру грузового момента в порядке, изложенном при рассмотрении задачи 3.

6.1. Отбрасываем опорные стержни, их действие заменяем опорными реакциями $R_{1\varepsilon}$ и $R_{2\varepsilon}$. Здесь и далее первый индекс указывает точку, в которой

приложена реакция, второй индекс указывает причину, вызвавшую реакцию. Выбранное направление реакций указано на рис. 7.8, б. Сумма проекций внешних нагрузок на горизонтальную ось Ozравна нулю. Следовательно горизонтальная реакция на опоре 1 (в стержне 1г) равна нулю и поэтому на рис. 7.8, б не указана.

6.2. Составляем уравнения равновесия моментов относительно опорных точек 1 и 2 (при таком выборе центров моментов система двух уравнений равновесия расщепляется на два независимых уравнения)

$$\left.\begin{aligned} L\,R_{2г} - (qL^2)/2 - 1{,}5\,LP + M = 0, \\ -L\,R_{1г} + (qL^2)/2 - 0{,}5\,LP + M = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (7.4)$$

6.3. Решаем систему

$$\left.\begin{aligned} R_{1г} = ((qL^2)/2 - 0{,}5\,LP + M)/L = 10\ кН, \\ R_{2г} = ((qL^2)/2 + 1{,}5\,LP - M)/L = 30\,кН \end{aligned}\right\}. \qquad (7.5)$$

6.4. Для проверки составляем уравнение моментов относительно точки Щ (середины пролёта 1-2)

$$-0{,}5\,L\,R_{1г} + 0{,}5\,L\,R_{2г} - L\,P + M = 0. \qquad (7.6)$$

$$-0{,}5 \cdot 2 \cdot 20 + 0{,}5 \cdot 2 \cdot 30 - 2 \cdot 20 + 20 = 0.$$

6.5. Запишем аналитическое выражение для эпюры грузового момента. Ось балки обозначим Oz и направим слева направо. Начало координат z выберем в самой левой точке балки (опоре 1).

$$M_г(z) = R_{1г}z - (qz^2)/2 + (R_{2г}(z-l) + q(z-l)^2/2)\,H(z-l) -$$

$$-P \cdot \left(z - {}^3/_2\,l\right)H\left(z - {}^3/_2\,l\right) - MH(z - {}^5/_2\,l). \qquad (7.7)$$

Эпюра грузового момента может быть построена как методом сечений, так и путём вычислений по формуле (7.7). Эпюра грузового момента представлена на рис. 7.8, в.

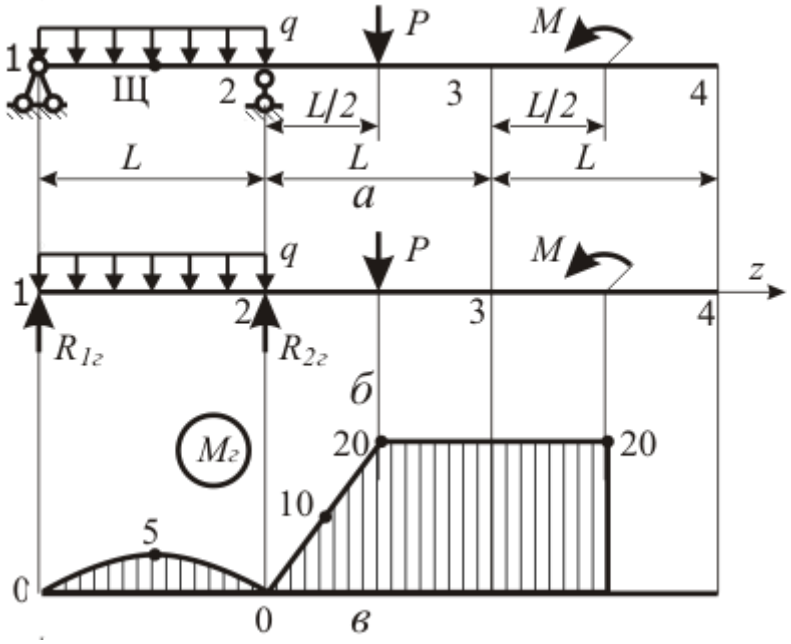


Рис. 7.8. К построению эпюры грузового момента $M_г$

7. Строим эпюру изгибающего момента от единичной силы, которая приложена в точке 4 и совпадает по направлению с избыточной неизвестной X_1 (полагаем неизвестную $X_1 = 1$). Момент от действия неизвестной $X_1 = 1$ называют единичным и выделяют надчёркиванием символа M. Построение эпюр изгибающих моментов рассмотрено в п. 6, а также в задаче 3. В случае консольной балки, нагруженной только на консоли, эпюру моментов можно построить без определения опорных реакций, Моменты на опоре 1 и в точке нагружения 4 (в которой к консоли приложена сила X_1) равны нулю: $\overline{M_1}(z_1) = 0$, $\overline{M_1}(z_4) = 0$. Момент силы $X_1 = 1$ на опоре 2 равен $\overline{M_1}(z_2) = 2 \cdot L = 2 \cdot 2 = 4$ Н·м.

Проводим ось Oz. На вертикали 2 откладываем вверх (в выбранном масштабе) отрезок, равный значению $\overline{M_1}(z_2)$. Верхнюю точку отложенного отрезка соединяем прямыми с нулями точек 1 и 4 (рис. 7.9, в).

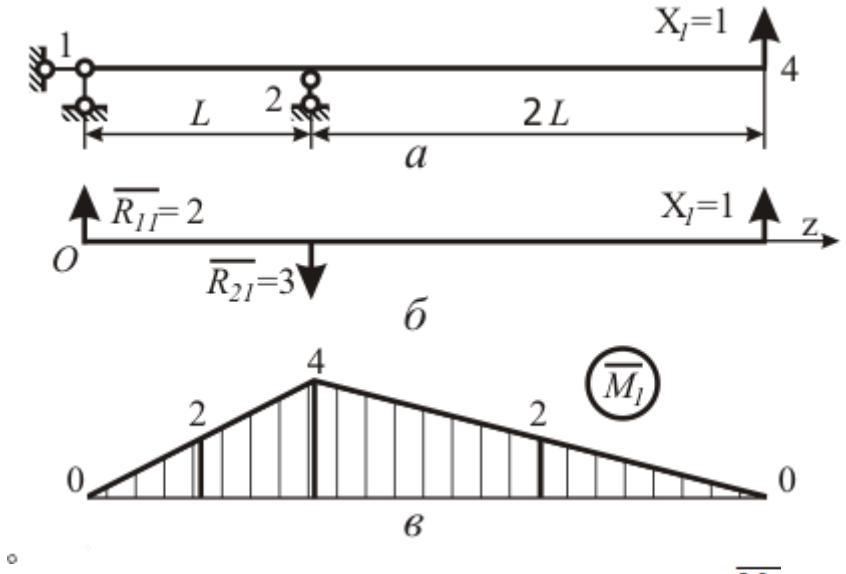


Рис. 7.9. К построению единичного момента $\overline{M_1}$

Аналитическое выражение для единичного момента запишем в виде

$$\overline{M_1(z)} = \overline{R_{11}}\, z - \overline{R_{21}}(z - L)\, H(z - L), \qquad (7.8)$$

где начало координат для оси Oz взято в левом сечении балки (на опоре 1); реакции опор $\overline{R_{11}}$ и $\overline{R_{21}}$ от единичной силы $X_1 = 1$ найдены из уравнений равновесия моментов относительно опорных точек 2 и 1

$$\left.\begin{aligned} -L\,\overline{R_{11}} + 2\,L\,X_1 &= 0, \\ -L\,\overline{R_{21}} + 3\,l\,X_1 &= 0 \end{aligned}\right\}.$$

Получаем $\overline{R_{11}} = 2$ и $\overline{R_{21}} = 3$. Направления реакций указаны на рис. 7.9, б.

8. Построение эпюры единичного момента $\overline{M_2}$ от единичной силы, приложенной в точке 3 и совпадающей по направлению с избыточной неизвестной X_2 ($X_2 = 1$), схоже с построением $\overline{M_1}$ (см. рис. 7.9).

Моменты на опоре 1 и в точке 3 равны нулю: $\overline{M_2}(z_1) = \overline{M_2}(z_3) = 0$. Момент на опоре 2 от силы $X_2 = 1$ равен $\overline{M_2}(z_2) = 1 \cdot L = 2$. Проводим ось Oz. На вертикали 2 откладываем вверх (в выбранном масштабе) отрезок, равный

значению $\overline{M_2}(z_2)$. Верхнюю точку отложенного отрезка соединяем прямыми с нулями точек 1 и 3. Справа от точки 3 нагрузки отсутствуют, поэтому $\overline{M_2} \equiv 0$ на участке 3 - 4 (рис. 7.10, в).

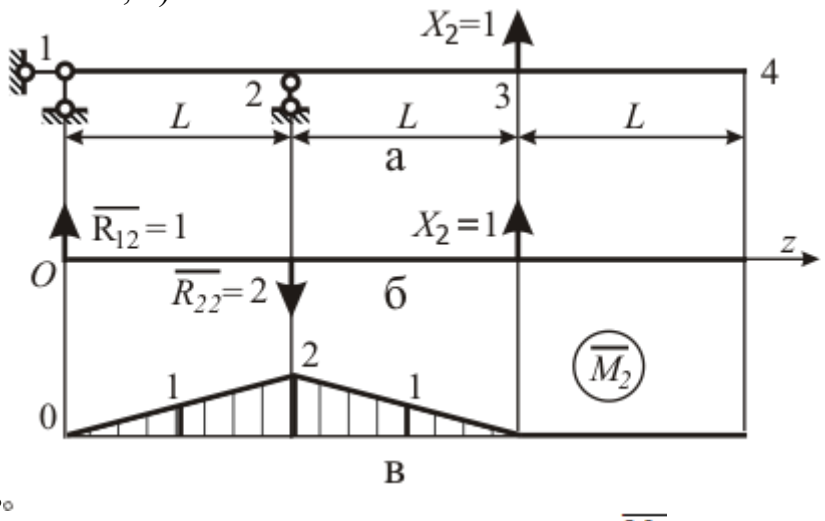


Рис. 7.10. К построению эпюры $\overline{M_2}$

Аналитическое выражение для единичного момента запишем в виде

$$\overline{M_2(z)} = \overline{R_{12}}\, z - \overline{R_{22}}(z - L)\, H(z - L) + 1 \cdot (z - 2L)\, H(z - 2L), \quad (7.9)$$

где начало координат для оси Oz взято в левом сечении балки (на опоре 1); реакции опор $\overline{R_{12}}$ и $\overline{R_{22}}$ от единичной силы $X_1 = 1$ найдены из уравнений равновесия моментов относительно опорных точек 2 и 1

$$\left.\begin{aligned} -L\,\overline{R_{12}} + L\,X_2 &= 0, \\ -L\,\overline{R_{22}} + 2\,l\,X_2 &= 0 \end{aligned}\right\}.$$

Получаем $\overline{R_{12}} = 1$ и $\overline{R_{22}} = 2$. Направления реакций указаны на рис. 7.10, б.

9. Перемещение эквивалентной системы в направлении избыточного неизвестного X_{1i} под действием внешней нагрузки (грузовой член Δ_i системы уравнений метода сил) вычисляем по формуле (7.6), в которую подставлены выражения моментов (7.8),(7.9),(7.12). В результате вычислений получаем

$$\Delta_1 = \int_0^{3L} M_e(z) \cdot \overline{M_1}(z)/(EJ) \cdot dz = 127/(EJ);$$

$$\Delta_2 = \int_0^{3L} M_e(z) \cdot \overline{M_2}(z)/(EJ) \cdot dz = 30.0/EJ.$$

Расчёты проведены с использованием системы аналитических вычислений «Математика 5». Отметим, что подобные вычисления могут быть сделаны с использованием других систем символьной математики (MATHCAD, MAPLE).

Вычислим грузовые коэффициенты применяя формулу Симпсона. Получаем

$$\Delta_1 = 2/(6EJ)(0 \cdot 0 + 4 \cdot 2 \cdot 5 + 4 \cdot 0) + 1/(6EJ)(4 \cdot 0 + 4 \cdot 3{,}5 \cdot 10 + 3 \cdot 20) +$$
$$+ 2/(6EJ)(3 \cdot 20 + 4 \cdot 2 \cdot 20 + 1 \cdot 20) + 1/(6EJ)(2 \cdot 0 + 4 \cdot 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0) =$$
$$= 127/EJ\,.$$

$$\Delta_2 = 2/(6EJ)(0 \cdot 0 + 4 \cdot 1 \cdot 5 + 2 \cdot 0) + 1/(6EJ)(2 \cdot 0 + 4 \cdot 1{,}5 \cdot 10 + 1 \cdot 20) +$$
$$+ 1/(6EJ)(1 \cdot 20 + 4 \cdot 0{,}5 \cdot 20 + 0 \cdot 20) = 30{,}0/EJ\,.$$

10. При определении перемещения y_{ij} эквивалентной системы в направлении избыточного неизвестного X_{1i} под действием избыточного неизвестного X_{1j} интеграл перемещений примет вид

$$y_{ij} = X_j \int_0^{3L} \overline{M_i}(z)\,\overline{M_j}(z)/(EJ)\,. \qquad (7.10)$$

Здесь используется принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции). Изгибающий момент от избыточного неизвестного X_j представлен как произведение модуля этого неизвестного на момент от единичной силы, приложенной в точке jи действующей по направлению силы X_j.

Интеграл в формуле (7.10) называют коэффициентом при неизвестном системы канонических уравнений метода сил и обозначают δ_{ij}. Из свойств определённого интеграла вытекают следующие свойства матрицы коэффициентов при неизвестных системы канонических уравнений метода сил: матрица коэффициентов при неизвестных симметрична

$$\delta_{ij} = \delta_{ji};$$

диагональные члены матрицы коэффициентов при неизвестных положительны $\delta_{ii} > 0$.

Канонические уравнения метода сил примут вид с учётом принятых обозначений:

$$\left.\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_1 = 0,\\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_2 = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (7.11)$$

Коэффициенты при неизвестных вычислены по формуле Симпсона

$$\delta_{11} = L/(6EJ)(0 + 4\cdot 2^2 + 4^2) + 2\,L/(6EJ)(0 + 4\cdot 2^2 + 4^2) = 32/(EJ);$$

$$\delta_{22} = 2\cdot 2/(6EJ)\,(0 + 4\cdot 1 + 2^2)/(6EJ) = 5{,}33/(EJ);$$

$$\delta_{12} = 2/(6EJ)(0 + 4\cdot 2\cdot 1 + 4\cdot 2) + 2/(6EJ)(4\cdot 2 + 4\cdot 3\cdot 1 + 2\cdot 0) = 12/EJ\,.$$

11. Система канонических уравнений метода сил

$$\left.\begin{aligned} 32{,}0\,X_1 + 12{,}0\,X_2 + 127 = 0\,,\\ 12{,}0\,X_1 + 5{,}33\,X_2 + 30{,}0 = 0 \end{aligned}\right\}.$$

Корни этой системы равны $X_1 = -11{,}8$, $X_1 = 21{,}0$. Избыточное неизвестное X_1 отрицательно, следовательное его направление и направление реакций $\overline{R_{11}}$и $\overline{R_{21}}$ обратно принятому на рис. 7.10, б.

12. Определяем опорные реакции. В соответствии с направлениями реакций (рис. 7.19, б – 7.10, б) получаем

$$R_1 = R_{1в} + X_1\overline{R_{11}} + X_2\overline{R_{12}} = 10{,}0 - 11{,}8\cdot 2 + 21{,}0\cdot 3 = 7{,}33;$$

$$R_2 = R_{2в} - X_1\overline{R_{21}} - X_2\overline{R_{22}} = 30 - (-11{,}8)\cdot 1 - 21{,}0\cdot 2 = 23{,}5.$$

Строим истинную эпюру поперечной силы Q (рис. 7.11, ж).

13. Истинную эпюру изгибающих моментов, в неразрезной балке находим по формуле

$$M(z) = M_в(z) + X_1\overline{M_1}(z) + X_2\overline{M_2(z)}\,.$$

Эпюра изгибающего момента дана на рис. 7.11, з.

14. Выбор двутавра из условия прочности $\sigma_m = M_m/W \le [\sigma]$. Здесь: $M_m = 11{,}8$ [кН·м] $= 11{,}8\cdot 10^3$ [Н·м] – наибольший по модулю изгибающий

момент в балке (найденный в п. 3); $[\sigma] = 200$ [МПа] $= 2 \cdot 10^8$ [Н/м^2] – допускаемые напряжения.

Требуемый по условию прочности момент сопротивления изгибу $W = M_m/[\sigma] = 11{,}8 \cdot 10^3/2 \cdot 10^8 = 5{,}9 \cdot 10^{-5}$[м^3]$= 59$[см^3]. В ГОСТ 8239-89 находим двутавр с ближайшим большим моментом сопротивления изгибу: двутавр № 14, $W_x = 81{,}7{,}0$ [см^3]. Его момент инерции $J_x = 572$ [см^4].

15. Находим максимальные напряжения изгиба

$$\sigma_{max} = M_{max}/W_x = 11{,}8 \cdot 10^3/81{,}7 \cdot 10^{-6} = 1{,}45 \cdot 10^8 \text{ [Н/м}^2\text{]}.$$

Определяем коэффициент запаса прочности по допускаемым напряжениям $k_{[\sigma]} = [\sigma]/\sigma_{max} = 2 \cdot 10^8/1{,}45 \cdot 10^8 = 1{,}38$.

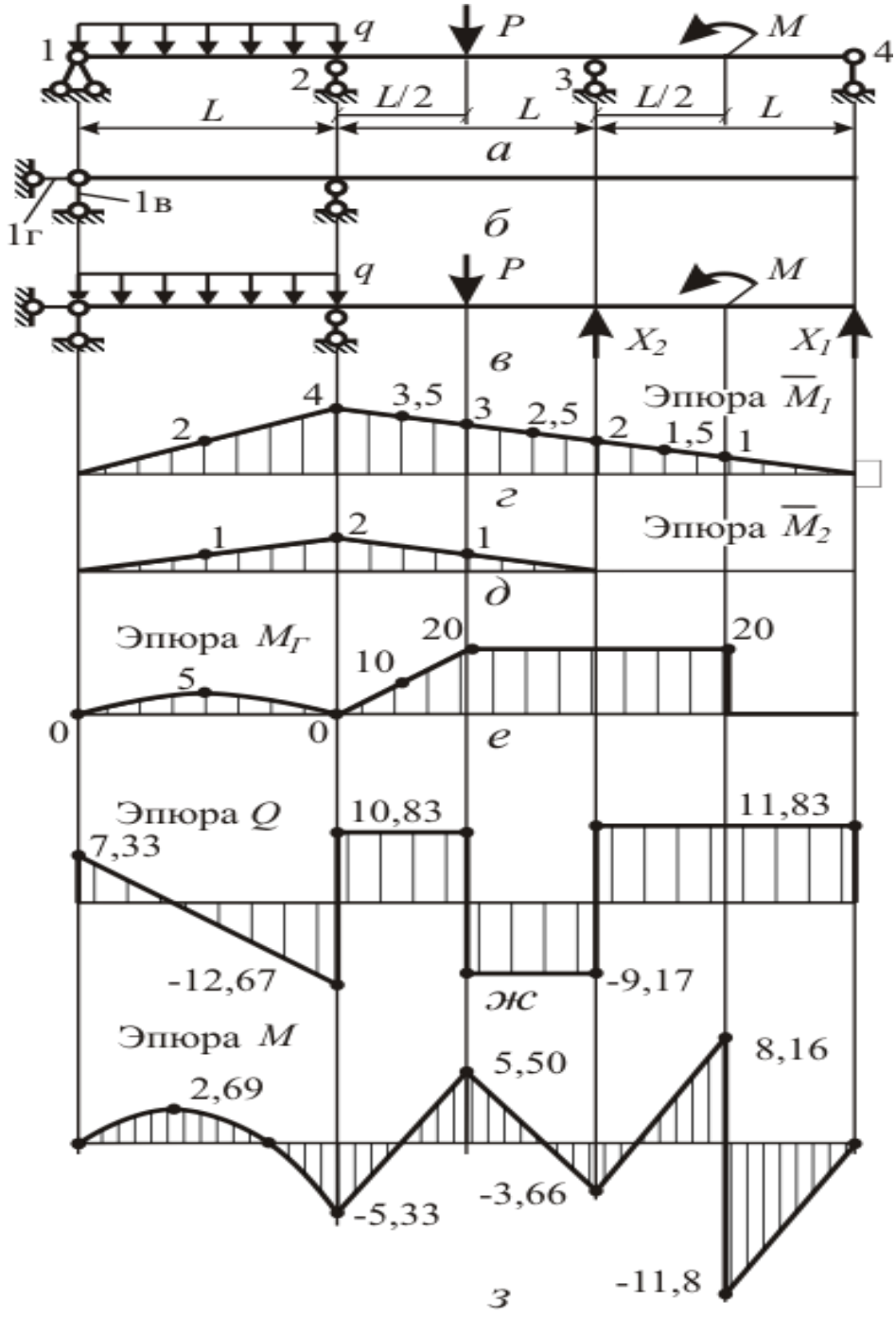


Рис. 7.11. Раскрытая методом сил статическая неопределимость

Задача №8. Расчет стержней на устойчивость

Из расчёта на устойчивость подобрать размеры поперечного сечения стального стержня, сжатого осевой силой P. Способ закрепления стержня и коэффициент приведённой длины μ указаны на рис. 8.1. Схемы сечений даны на рис. 8.2 и 8.3. Данные для расчёта сведены в табл. 8.1. Коэффициент продольного изгиба Приведен в табл.8.2.

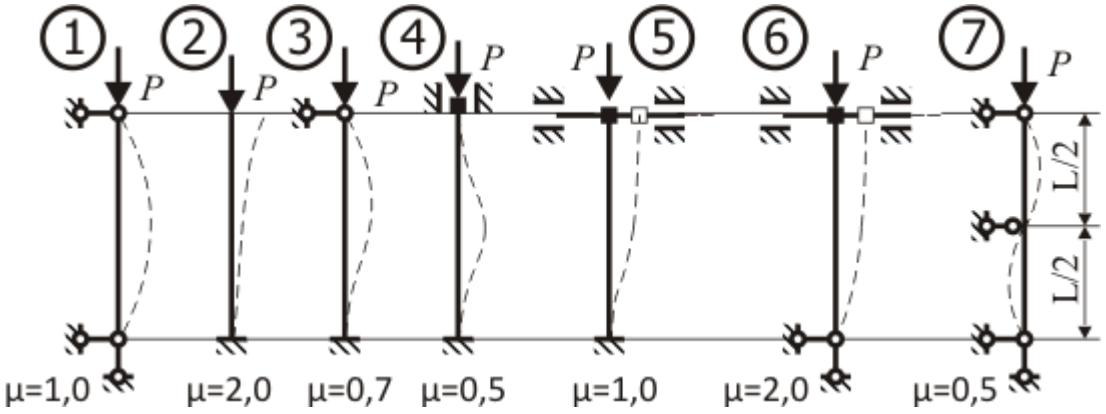


Рис. 8.1. Способ закрепления стержня и коэффициент приведённой длины μ

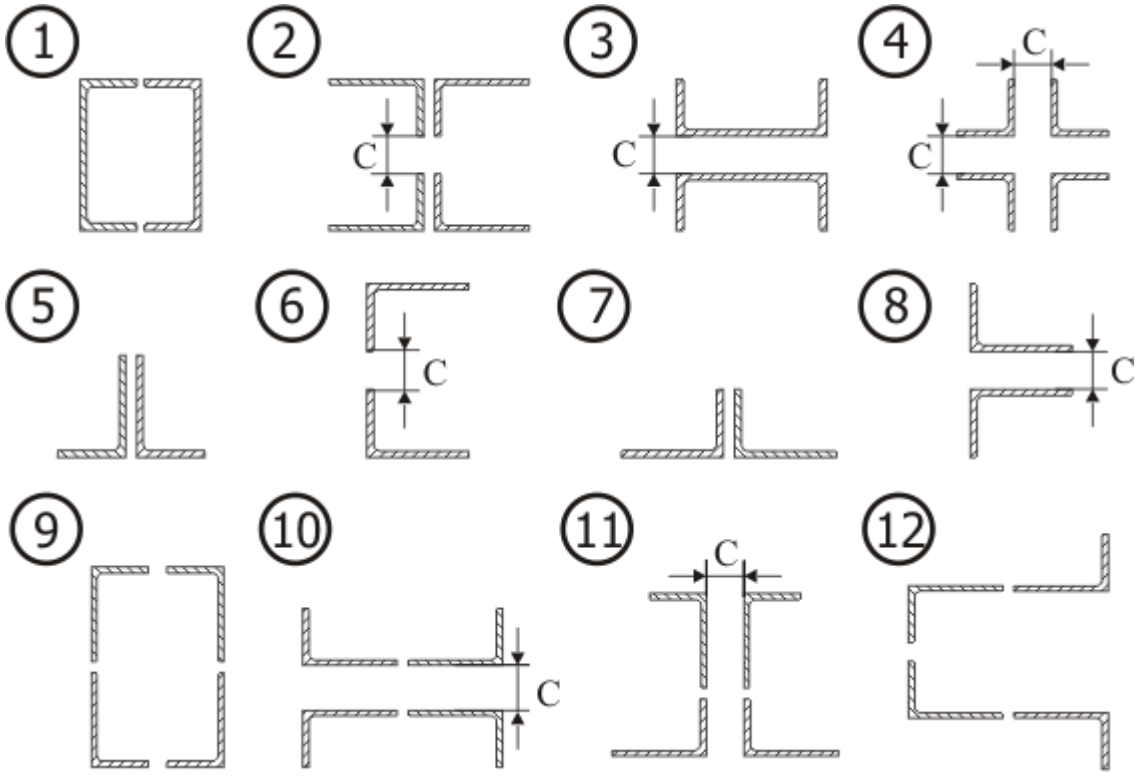


Рис. 8.2. Схемы поперечных сечений 1 – 12 стержня

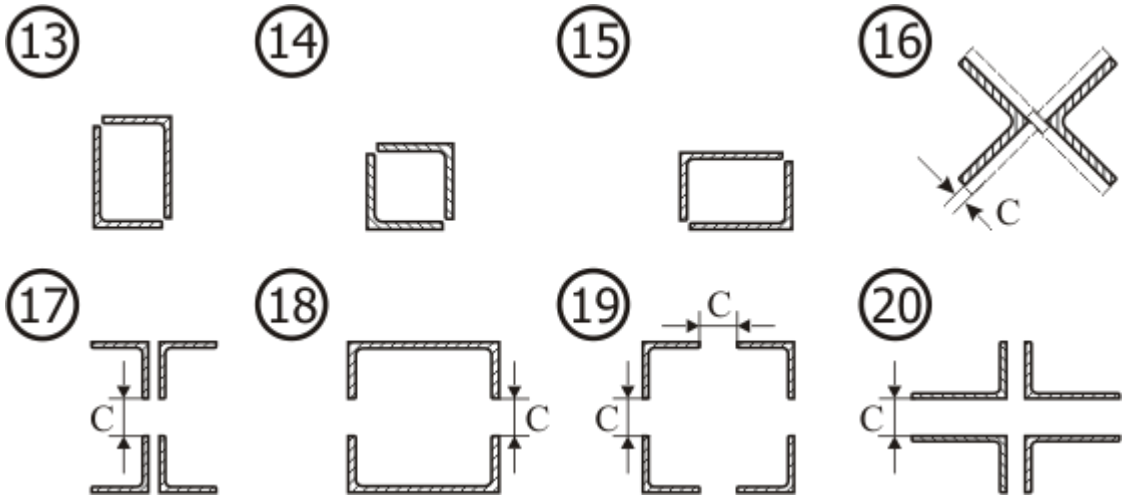


Рис. 8.3. Схемы поперечных сечений 13 – 20 стержня

Таблица 8.1

Исходные данные к задаче № 8

Номер варианта	Номер схемы закрепления	Номер сечения	Длина L, м	c, м	Осевая сила P, кН	Допускаемые напряжения сжатия $[\sigma]$, МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	6,0	–	500	240
2	2	2	2,5	70	550	280
3	3	3	6,5	75	600	320
4	4	4	7,0	80	650	360
5	5	5	7,5	–	95	400
6	6	6	3,0	55	90	440
7	7	7	8,0	–	85	480
8	1	8	6,0	60	80	520
9	2	9	3,5	–	700	560
10	3	10	6,5	65	750	600
11	4	11	7,0	70	800	640
12	5	12	7,5	–	850	240
13	6	13	4,0	–	75	280
14	7	14	8,0	–	70	320
15	1	15	6,0	–	65	360
16	2	16	2,5	75	60	400
17	3	17	6,5	80	900	440
18	4	18	7,0	55	500	480
19	5	19	7,5	60	550	520
20	6	20	3,0	65	600	560
21	7	1	8,0	–	650	600
22	1	2	6,0	70	700	640
23	2	3	3,5	75	750	240
24	3	4	6,5	80	800	280

Окончание таблицы 8.1

Номер варианта	Номер схемы закрепления	Номер сечения	Длина L, м	c, мм	Осевая сила P, кН	Допускаемые напряжения сжатия $[\sigma]$, МПа
1	2	3	4	5	6	7
25	4	5	7,0	–	55	320
26	5	6	7,5	55	95	360
27	6	7	4,0	–	90	400
28	7	8	8,0	60	85	440
29	1	9	6,0	–	850	480
30	2	10	2,5	65	900	520
31	3	11	6,5	70	500	560
32	4	12	7,0	–	550	600
33	5	13	7,5	–	80	640
34	6	14	3,0	–	75	240
35	7	15	8,0	–	70	280
36	1	16	6,0	75	65	320
37	2	17	3,5	80	600	360
38	3	18	6,5	55	650	400
39	4	19	7,0	60	700	440
40	5	20	7,5	65	750	480
41	6	1	4,0	–	800	520
42	7	2	8,0	70	850	560
43	1	3	6,0	75	900	600
44	2	4	2,5	80	500	640
45	3	5	6,5	–	60	240
46	4	6	7,0	55	55	280
47	5	7	7,5	–	95	320
48	6	8	3,0	60	90	360
49	7	9	8,0	–	550	400
50	1	10	6,0	65	600	440
51	2	11	3,5	70	650	480
52	3	12	6,5	–	700	520
53	4	13	7,0	–	85	560
54	5	14	7,5	–	80	600
55	6	15	4,0	–	75	640
56	7	16	8,0	75	70	240
57	1	17	6,0	80	750	280
58	2	18	2,5	55	800	320
59	3	19	6,5	60	850	360
60	4	20	7,0	65	900	400
61	5	1	7,5	–	500	440
62	6	2	3,0	70	550	480
63	7	3	8,0	75	600	520
64	1	4	6,0	80	650	560

Таблица 8.2.

Коэффициент продольного изгиба

Гибкость, λ	Значение коэффициента φ				
	Материал				
	Ст.4, Ст.3	Ст.5	Ст.СПБ	чугун	дерево
0	1	1	1	1	1
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,95	0,97
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,8
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,6
80	0,75	0,7	0,65	0,26	0,48
90	0,69	0,62	0,55	0,2	0,38
100	0,63	0,51	0,43	0,16	0,31
130	0,4	0,33	0,26	-	0,18
140	0,36	0,29	0,23	-	0,16
150	0,32	0,26	0,21	-	0,14
160	0,29	0,24	0,19	-	0,12
170	0,26	0,21	0,17	-	0,11
180	0,23	0,019	0,15	-	0,1
190	0,21	0,17	0,14	-	0,09
200	0,19	0,16	0,13	-	0,08

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Подобрать размеры поперечного сечения стальной трубчатой колонны, нагруженной осевой силой $P = 475$ кН. Высота колонны $l = 2{,}5$ м. Отношение внутреннего диаметра трубы к наружному равно $k = d_в/d = 0{,}5$. Схема закрепления колонны № 2 в табл. 7.1. Коэффициент приведённой длины $\mu = 2$. Допускаемые напряжения сжатия для материала колонны $[\sigma] = 440$ МПа.

1. Переводим: осевую силу в ньютоны $P = 4{,}75 \cdot 10^5$Н; допускаемые напряжения в Паскали: $[\sigma] = 4{,}4 \cdot 10^8$ Па.

2. Определяем приведённую длину колонны: $L = \mu\, l = 2 \cdot 2{,}5 = 5$ м.

3. Шаг 1 подбора сечения методом последовательных приближений. Задаём начальное значение коэффициента снижения запаса при продольном изгибе φ_1 по сравнению с коэффициентом запаса прочности при сжатии. Начальное значение коэффициента φ_1 рекомендуется выбирать в интервале 0,5 – 0,7. Принимаем $\varphi_1 = 0{,}5$.

4. По формуле

$$S_i = P/(\varphi_i\,[\sigma]) \qquad (8.1)$$

определяем площадь сечения, при которой обеспечивается устойчивость

$$S_1 = P/(\varphi_1\,[\sigma]) = 4{,}75 \cdot 10^5/(0{,}5 \cdot 4{,}4 \cdot 10^8) = 0{,}00216 \text{ м}^2.$$

5. Наружный диаметр сечения кольца, площадь которого равна S_1, находим по формуле

$$d_i = 2\sqrt{S_i/(\pi(1-k^2))}. \quad (8.2)$$

Получаем

$$d_1 = 2\sqrt{S_1/(\pi(1-k^2))} = 2\sqrt{0{,}00216/(3{,}14\cdot(1-0{,}5^2))} = 0{,}0605 \text{ м}.$$

6. Радиус инерции кольца

$$i = d\sqrt{1+k^2}/4. \quad (8.3)$$

Для выбранного кольца радиус инерции

$$i_1 = d_1\sqrt{1+k\text{^}2}/4 = 0{,}0605\sqrt{1+0{,}5\text{^}2}/4 = 0{,}0169 \text{ м}.$$

7. Гибкость стержня определяется по формуле

$$\lambda = L/i. \quad (8.4)$$

Сечение, выбранное на первом шаге, имеет гибкость

$$\lambda_1 = L/i_1 = 5/0{,}0169 = 295.$$

8. По табл. 8.3 определяем коэффициент снижения запаса по устойчивости по сравнению с коэффициентом запаса прочности при сжатии. Для стали СПБ (с повышенными прочностными характеристиками) наибольшее значение гибкости, при котором определён коэффициент φ, равно $\lambda = 200$. Принимаем значение коэффициента запаса для стержня, выбранного на шаге 1, равным $\Phi_1 = 0$. Различие значений коэффициента снижения запаса устойчивости $\varphi_1 = 0{,}5$ и $\Phi_1 = 0$ относительно велико.

9. Шаг 2.

9.1. Начальное значение коэффициента φ на следующем шаге принимаем равным среднему значению начального и конечного значений коэффициентов предыдущего шага. Для шага 2 имеем

$$\varphi_2 = (\varphi_1 + \Phi_1)/2 = (0{,}5+0)/2 = 0{,}25. \quad (8.5)$$

9.2. По формулам (8.1) – (8.4) находим площадь, наружный диаметр, радиус инерции и гибкость стержня при принятом для шага 2 значении φ_2.

Получаем для шага 2:

площадь

$$S_2 = P/(\varphi_2\,[\sigma]) = 4{,}75\cdot10^5/(0{,}25\cdot4{,}4\cdot10^8) = 0{,}00432 \text{ м}^2;$$

диаметр

$$d_2 = 2\sqrt{S_2/(\pi(1-k^2))} = 2\sqrt{0{,}00432/(3{,}14\cdot(1-0{,}5^2))} = 0{,}0856 \text{ м};$$

радиус инерции

$$i_2 = d_2\sqrt{1+k\text{^}2}/4 = 0{,}0856\sqrt{1+0{,}5\text{^}2}/4 = 0{,}0239 \text{ м};$$

гибкость

$$\lambda_2 = L/i_2 = 5/0{,}0239 = 209.$$

9.3. Гибкость λ_2 превышает значение гибкости, для которой составлена табл. 8.3. Принимаем коэффициент снижения допускаемых напряжений при расчёте на устойчивость по отношению к допускаемым напряжениям при сжатии $\Phi_2 = 0$.

10. Шаг 3.

10.1. По аналогии с формулой (8.5) для шага 3 получаем

$$\varphi_3 = (\varphi_2 + \Phi_2)/2 = (0{,}25+0)/2 = 0{,}125.$$

10.2. По формулам (7.1) – (7.4) находим площадь, наружный диаметр, радиус инерции и гибкость стержня при принятом для шага 3 значении φ_3.

Получаем для шага 3:
площадь

$$S_3 = P/(\varphi_3\,[\sigma]) = 4{,}75\cdot 10^5/(0{,}125\cdot 4{,}4\cdot 10^8) = 0{,}00864\ \text{м}^2;$$

диаметр

$$d_3 = 2\sqrt{S_3/(\pi(1-k^2))} = 2\sqrt{0{,}00864/(3{,}14\cdot(1-0{,}5^2))} = 0{,}121\ \text{м};$$

радиус инерции

$$i_3 = d_3\sqrt{1+k\text{^}2}/4 = 0{,}121\sqrt{1+0{,}5\text{^}2}/4 = 0{,}0338\ \text{м};$$

гибкость

$$\lambda_3 = L/i_3 = 5/0{,}0338 = 148\,.$$

10.3. По табл. 8.3 для стали СПБ находим с помощью линейной интерполяции значение коэффициента Φ_3. Для начального $\lambda_н$ и конечного $\lambda_к$ значений границ интервала, в коем лежит найденная гибкость λ, выписываем из табл. 8.3 соответствующие им значения $\varphi_н$ и $\varphi_к$. По формуле линейной интерполяции

$$\Phi = \varphi_н + (\varphi_к - \varphi_н)\,(\lambda - \lambda_н)/(\lambda_к - \lambda_н) \qquad (8.6)$$

получаем для шага 3:

$$\lambda_{н3} = 140\,;\ \lambda_{к3} = 150;$$
$$\varphi_{н3} = 0{,}23;\ \varphi_{к3} = 0{,}21;$$
$$\lambda_3 = 148.$$

Подставляя эти значения в (7.6), получаем

$$\Phi_3 = \varphi_{н3} + (\varphi_{к3} - \varphi_{н3})\,(\lambda_3 - \lambda_{н3})/(\lambda_{к3} - \lambda_{н3}) =$$
$$= 0{,}23 + (0{,}21 - 0{,}23)\,(148 - 140)/(150 - 140) = 0{,}215.$$

10.4. Определяем критическую силу по формуле

$$P = \Phi\, S\,[\sigma]. \qquad (8.7)$$

Получаем

$$P_3 = \Phi_3 S_3[\sigma] = 0{,}215\cdot 0{,}00864\cdot 4{,}4\cdot 10^8 = 8{,}15\cdot 10^5\ \text{Н}.$$

10.5. По формуле

$$\Delta_i = (P_i - P)/P \qquad (8.8)$$

ищем относительную погрешность подбора сечения.
Получаем

$$\Delta_i = (P_i - P)/P = (8{,}15\cdot 10^5 - 4{,}75\cdot 10^5)/4{,}75\cdot 10^5 = 0{,}716.$$

При подборе поперечного сечения колонны следует стремится к тому, чтобы относительная погрешность подбора лежала в пределах $\mp 0{,}05$.

11. Шаг 4

11.1. По формуле (8.5) для шага 4 получаем

$$\varphi_4 = (\varphi_3 + \Phi_3)/2 = (0{,}125 + 0{,}215)/2 = 0{,}170.$$

11.2. По формулам (8.1) – (8.4) находим площадь, наружный диаметр, радиус инерции и гибкость стержня при принятом для шага 4 значении φ_4.
Получаем для шага 4:
площадь

$$S_4 = P/(\varphi_4\,[\sigma]) = 4{,}75\cdot 10^5/(0{,}170\cdot 4{,}4\cdot 10^8) = 0{,}00636\ \text{м}^2;$$

диаметр

$$d_4 = 2\sqrt{S_4/(\pi(1-k^2))} = 2\sqrt{0{,}00636/(3{,}14\cdot(1-0{,}5^2))} = 0{,}104\ \text{м};$$

радиус инерции

$$i_3 = d_3\sqrt{1+k\hat{}2}/4 = 0{,}104\sqrt{1+0{,}5\hat{}2}/4 = 0{,}0290 \text{ м};$$

гибкость

$$\lambda_3 = L/i_3 = 5/0{,}0290 = 172\,.$$

11.3. По табл. 8.3 для стали СПБ находим значение коэффициента Φ_4. Для начального $\lambda_н$ и конечного $\lambda_к$ значений границ интервала, в коем лежит найденная гибкость λ, выписываем из табл. 8.3 соответствующие им значения $\varphi_н$ и $\varphi_к$. По формуле линейной интерполяции

$$\Phi = \varphi_н + (\varphi_к - \varphi_н)\,(\lambda - \lambda_н)/(\lambda_к - \lambda_н) \qquad (8.9)$$

получаем для шага 4:

$$\lambda_{н4} = 170\,;\ \lambda_{к4} = 180;$$
$$\varphi_{н4} = 0{,}17;\ \varphi_{к4} = 0{,}15;$$
$$\lambda_4 = 172.$$

Подставляя эти значения в (8.9), получаем

$$\Phi_4 = \varphi_{н4} + (\varphi_{к4} - \varphi_{н4})\,(\lambda_4 - \lambda_{н4})/(\lambda_{к4} - \lambda_{н4}) =$$
$$= 0{,}17 + (0{,}15 - 0{,}17)\,(172 - 170)/(180 - 170) = 0{,}166.$$

11.4. Определяем критическую силу по формуле

$$P = \Phi\, S\, [\sigma]. \qquad (8.10)$$

Получаем

$$P_4 = \Phi_4 S_4 [\sigma] = 0{,}166 \cdot 0{,}00636 \cdot 4{,}4 \cdot 10^8 = 4{,}64 \cdot 10^5 \text{Н}.$$

11.5. По формуле (8.8) ищем относительную погрешность подбора сечения. Получаем

$\Delta_i = (P_i - P)/P = (4{,}64 \cdot 10^5 - 4{,}75 \cdot 10^5)/4{,}75 \cdot 10^5$=0,0242.

Критическая сила для стержня меньше действующей силы на 2,42%. Полученное значение лежит в пределах принятой в сопротивлении материалов погрешности в 5 %.

12. Выбрана труба с внешним диаметром 105 мм и внутренним диаметром 52,5 мм.

Задача № 9. Расчёт статически неопределимых рам

Раскрыть статическую неопределимость рамы (рис. 9.1). Построить эпюры внутренних силовых факторов, действующих в поперечных сечениях. Выбрать сечение двутавровой балки при заданном допускаемом напряжении $[\sigma] = 160$ МПа. Данные для расчёта взять из табл. 9.1.

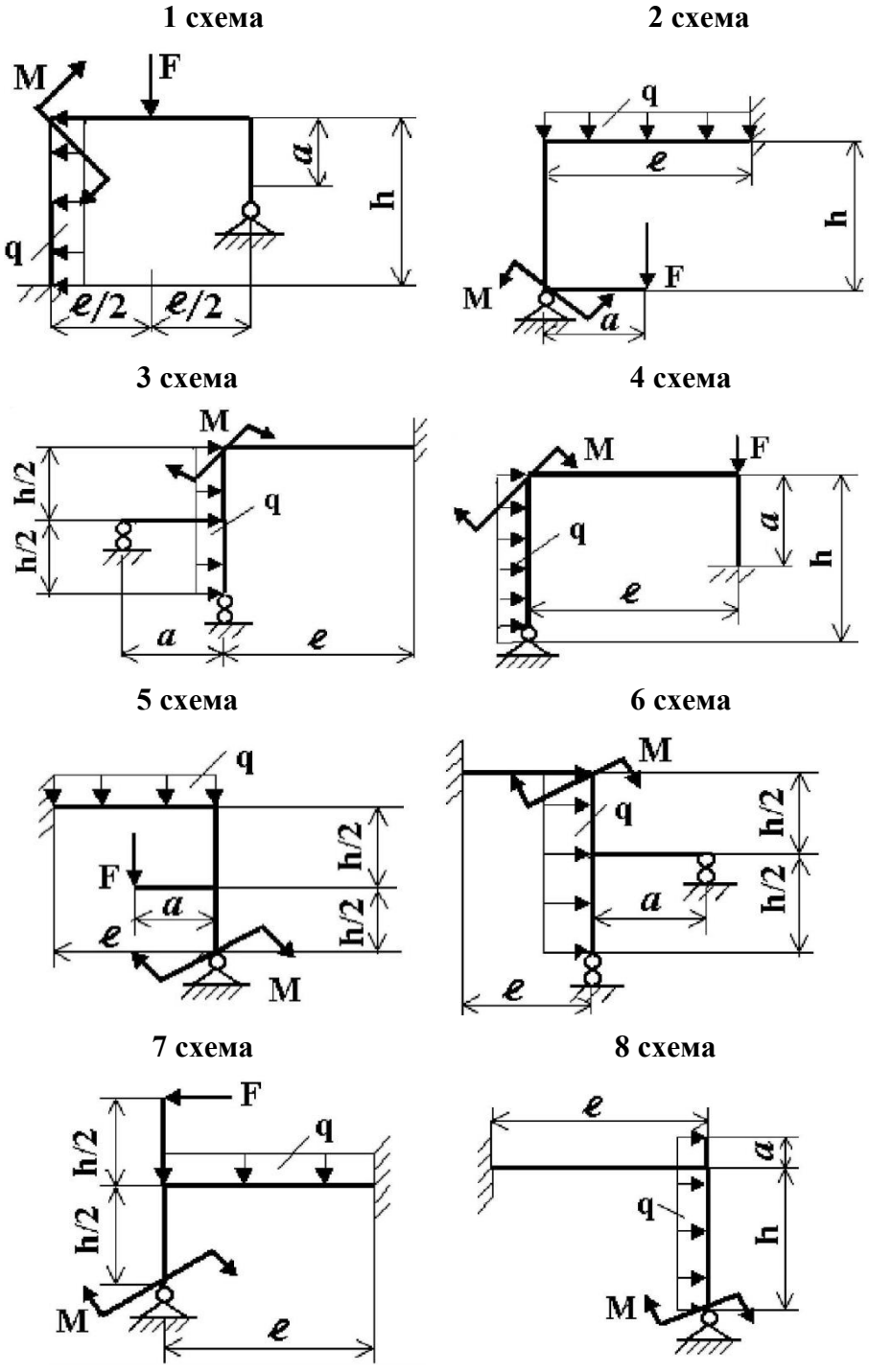


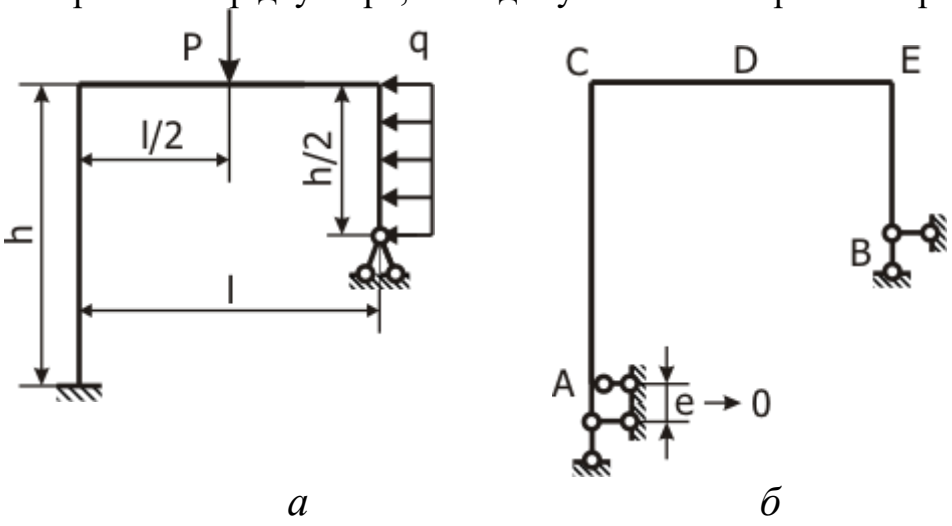
Рис. 9.1 Рама: схемы 1 … 8

Табл. 9.1

Номер задания	Схема по рис.9.1	Параметры	Числовые значения вариантов									
1	**1**	***h*, м**	**2,5**	**3,0**	**2,0**	**2,0**	**2,5**	**2,5**	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**3,0**
2	**2**	***a*, м**	**1,8**	**1,0**	**1,5**	**1,6**	**1,0**	**1,2**	**1,5**	**1,0**	**2,0**	**1,8**
3	**3**	**M, кНм**	**30**	**40**	**20**	**20**	**40**	**26**	**25**	**60**	**30**	**20**
4	**4**	**F, кН**	**24**	**25**	**35**	**65**	**30**	**30**	**30**	**50**	**65**	**35**
5	**5**	**q, кН/м**	**30**	**30**	**30**	**10**	**10**	**35**	**20**	**35**	**15**	**10**
6	**6**	***h*, м**	**3,0**	**3,0**	**2,5**	**3,0**	**2,5**	**3,0**	**2,5**	**2,0**	**3,0**	**2,5**
7	**7**	***l*, м**	**4,0**	**4,0**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**4,0**	**3,0**	**3,0**	**2,0**	**4,0**
8	**8**	**M, кНм**	**30**	**45**	**25**	**30**	**25**	**24**	**35**	**20**	**35**	**20**
Номер варианта			**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Раскрыть статическую неопределимость рамы (рис. 9.2. *а*). Размеры $l = 4$ м; $h = 4$ м. Нагрузки: $P = 20$ [кН]; $q = 5$ [кН/м]. Сечения стержней – двутавр. Выбрать номер двутавра, если допускаемые напряжения равны $[\sigma] = 160$ МПа.



а *б*

Рис. 9.2 Рама: а) схема; б) количество опорных стержней

РЕШЕНИЕ

1. *Степень статической неопределимости рамы.* Число опорных стержней равно 5 (заделка эквивалентна 3 опорным стержням (рис. 9.2. *б*), шарнирно-неподвижная опора образована 2 стержнями). Для определения опорных реакций плоской рамы имеем 3 уравнения статики. **Степенью статической неопределимости** называется разность между числом опорных стержней и числом уравнений статики. Рама дважды статически неопределима

$$N_{\text{неоп}} = K_{\text{реак}} - K_{\text{ур}} = 5 - 3 = 2.$$

2. *Выбор основной системы.* Удалив в заданной системе 2 опорных стержня, получим необходимое условие статической определимости

$$K_{\text{реак}} - K_{\text{ур}} = 0.$$

Основной системой называется **неизменяемая** статически определимая система, полученная из заданной системы отбрасыванием избыточных связей. На рис. 9.3 приведены основные системы, полученные отбрасыванием двух лишних опорных стержней.

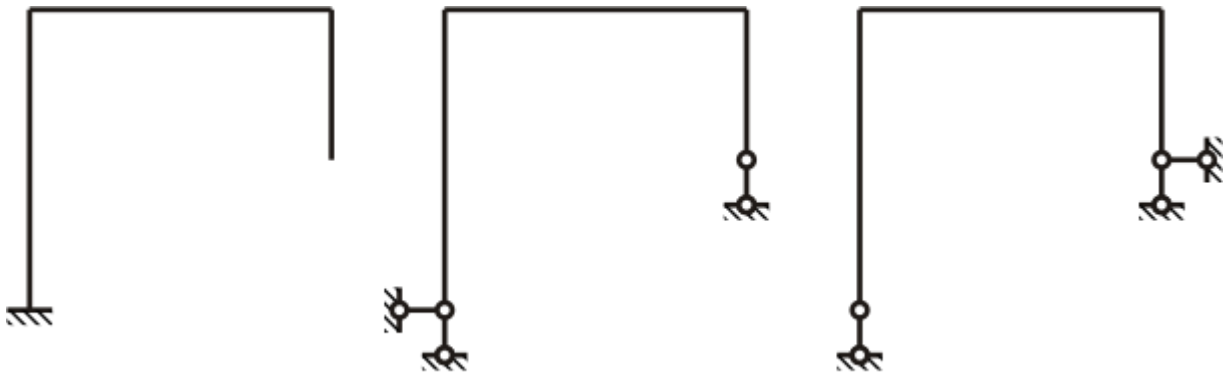


Рис. 9.3 Основные системы, полученные отбрасыванием опорных стержней

Основную систему можно получить удалением внутренних связей в узлах рамы или в самих стержнях. В основной системе (рис. 9.4.а) в узлах рамы удалены внутренние связи, передающие изгибающий момент. В системе (рис. 9.4.б) в двух сечениях удалены внутренние связи, воспринимающие изгибающие моменты. **Основная система должна быть неизменяемой**. Система (рис. 9.4.в), полученная удалением вертикальных опорных стержней, изменяема. Система (рис. 9.4.г), в правую стойку которой врезаны два шарнира, мгновенно изменяема.

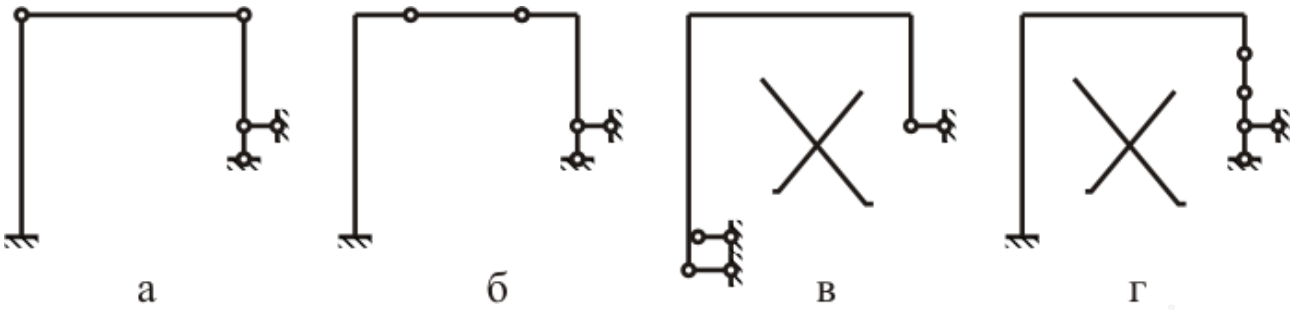


Рис. 9.4.а Основные системы, полученные удалением внутренних связей: а) в узлах, б) в стержнях, в) изменяемая система, г) мгновенно изменяемая система

3. *Выбор эквивалентной системы.* В качестве основной системы, выберем систему, показанную на рис. 9.3.а. Нагрузим её внешними нагрузками P, q согласно схеме, приведённой на (рис. 9.2.а). Действие удалённых опорных стержней, заменим **лишними неизвестными** силами $X_1,\ X_2$, приложенными в точке B. **Эквивалентной системой** называют основную систему, к которой

приложены заданные внешние нагрузки и лишние неизвестные X_1, X_2.
Эквивалентная система рамы приведена на рис. 9.5.

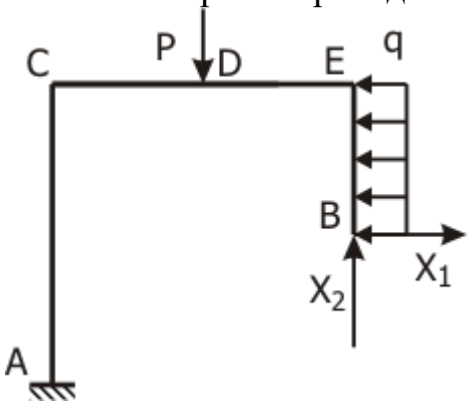


Рис. 9.5 Эквивалентная система

4. *Эпюры моментов*. При построении эпюр изгибающих моментов методом сечений применяем правило знаков для момента в балке, закреплённой горизонтально (рис. 9.6).

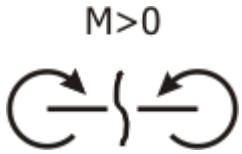


Рис. 9.6 Правило знаков для M

Перед применением этого правила к построению эпюры моментов на участке рамы с осью иного направления необходимо:

выбрать горизонтальный участок рамы и провести ниже оси этого участка пунктирную линию;

не пересекая оси рамы продолжить этот пунктир на прочих участках, параллельно их осям.

Разрезав раму и выбрав кусок, равновесие которого будет изучаться, следует повернуть кусок так, чтобы на нём ось разрезанного участка стала горизонтальной и пунктирная линия лежала ниже оси.

Пунктирная линия для рамы приведена на рис. 9.7.

Рама разбита на 4 участка: BE, ED, DC, CA. Границами участков являются: концы A и B, узлы C и E, точка D приложения силы.

4.1. *Эпюра* $\bar{M}_1$. Схема нагружения рамы силой $\bar{X}_1$ дана на рис. 9.7. Эпюру единичного изгибающего момента строим методом сечений. Правило для определения знака момента на горизонтальном участке CDE дано на рис. 9.6.

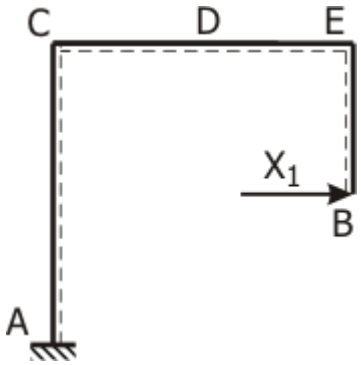


Рис. 9.7 К построению $\bar{M}_1$

4.1.1. *Эпюра $\bar{M}_1$ на участке BE*. Разрежем раму на участке BE в сечении S, лежащем на расстоянии S_B (рис. 9.8.а) и рассмотрим равновесие свободного (незакреплённого) куска. Повернём кусок SB в горизонтальное положение так, чтобы пунктирная линия лежала ниже оси (рис. 9.8.б). Момент силы $\bar{X}_1$ относительно точки равен $\bar{M}_1(S_B) = \bar{X}_1 S_B$. Сила вращает кусок SB в положительном направлении (против хода стрелок часов). По правилу знаков для моментов (рис. 9.6) это направление момента считается положительным для правого куска. Для вычисления интеграла перемещений по формуле Симпсона найдём значения момента в начале, середине, конце участка SB и построим эпюру изгибающего момента на участке. Положительные значения момента в машиностроении принято откладывать на сжатых волокнах. Представим, что кусок SB защемлён в сечении S. Сила $\bar{X}_1$ изогнёт кусок так, что правые волокна окажутся короче левых (рис. 9.8.в). Эпюру $\bar{M}_1(S_B)$ строим справа от оси стержня BE (рис. 9.8.г).

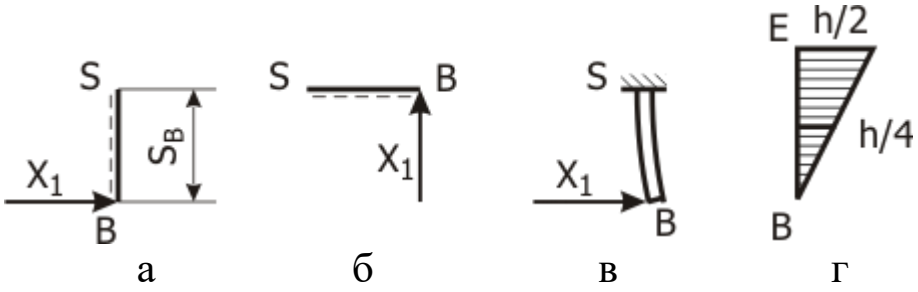
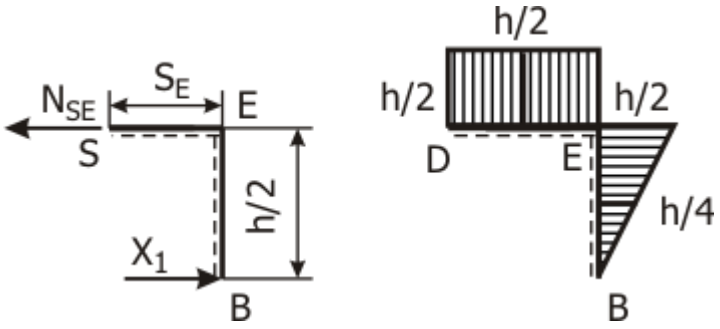


Рис. 9.8. Эпюра $\bar{M}_1$ на участке BE: а) отрезанный кусок; б) повёрнутый кусок; в) сжатые волокна; г) эпюра на участке

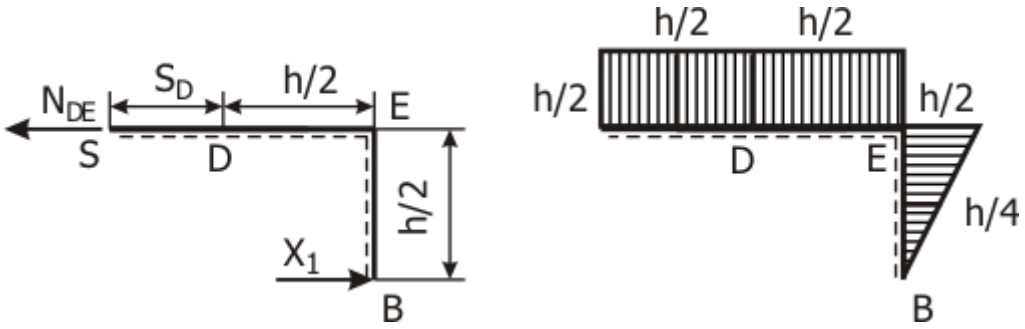
4.1.2. *Эпюра $\bar{M}_1$ на участке ED*. Разрежем раму на участке BE в сечении S, лежащем S_E на расстоянии от точки E (рис. 9.9.а). Рассматриваем равновесие правого (свободного) куска. Кусок не поворачиваем, так как пунктирная линия лежит ниже сплошной. Сила $\bar{X}_1$ уравновешена осевой силой N_{ES}, приложенной в сечении S. Эта пара сил создаёт в сечении S положительный изгибающий момент $\bar{M}_1(S_E)=\bar{X}_1 h/2$, постоянный на участке ED.



а б

Рис. 9.9 Эпюра $\bar{M}_1$ на участке ED: а) отрезанный кусок; б) эпюра

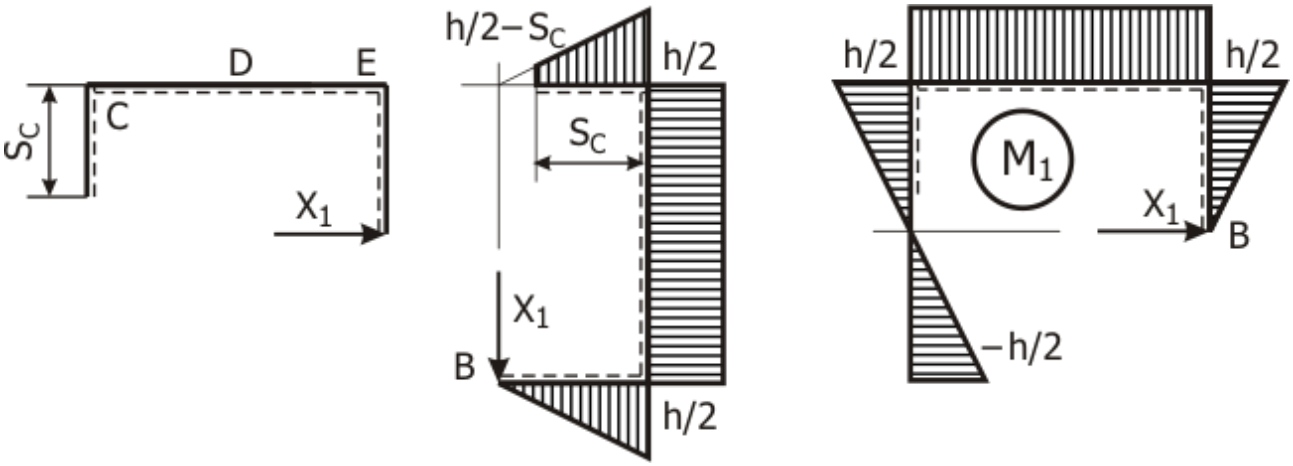
4.1.3. *Эпюра $\bar{M}_1$ на участке DC.* Эпюра на участке DC строится аналогично предыдущему. Результаты построения даны на рис. 9.10.



а б

Рис. 9.10 К построению эпюры $\bar{M}_1$ на участке DC: а) отрезанный кусок; б) эпюра

4.1.4. *Эпюра $\bar{M}_1$ на участке CA.* Разрежем раму в сечении S, лежащем на расстоянии S_C (рис. 9.11.а) от точки C. Рассмотрим равновесие свободного куска. Повернём кусок так, чтобы участок SC стал горизонтальным и пунктирная линия лежала ниже сплошной (рис. 9.11.б). Сила $\bar{X}_1$ уравновешивается поперечной силой Q, приложенной в сечении S. Пара сил $\bar{X}_1$ и Q создаёт в этом сечении S момент равный $\bar{M}_1(S_C) = \bar{X}_1(h/2 - S_C)$. Значения момента в начале, середине, конце участка CA равны $\bar{M}_1(0) = h/2$, $\bar{M}_1(h/2) = 0$, $\bar{M}_1(0) = -h/2$ и строим эпюру изгибающего момента на участке (рис. 9.11.в).



а б в

Рис. 9.11 К построению эпюры $\bar{M}_1$ на участке CA: а) отрезанный кусок; б) повёрнутый кусок; в) эпюра

4.1.5. *Аналитические выражения для эпюры* $\bar{M}_1$ применяются в случае аналитического интегрирования:

$$\bar{M}_1 = \begin{cases} s_B; & \text{участок } BE \quad 0 \le s_B \le h/2; \\ h/2; & \text{участок } ED \quad 0 \le s_E \le h/2; \\ h/2; & \text{участок } DC \quad 0 \le s_D \le h/2; \\ h/2 - s_C; & \text{участок } CA \quad 0 \le s_D \le h/2. \end{cases}.$$

4.2. *Эпюра* $\bar{M}_2$. Схема приложения силы $\bar{X}_2$ к раме дана на рис. 9.12.

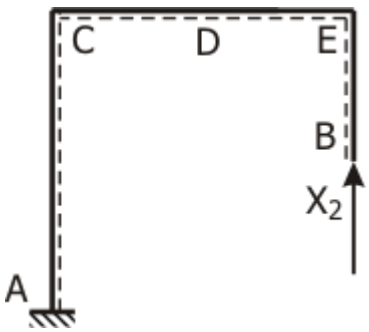


Рис. 9.12 К построению эпюры $\bar{M}_2$

4.2.1. *Участок* BE. Разрезаем в сечении S, лежащем на расстоянии s_B от точки B. Рассматриваем равновесие нижнего от разреза (свободного) куска (рис. 9.12). Сила $\bar{X}_2$ действует вдоль оси стержня BE. Момент $\bar{M}_2$ на участке равен нулю.

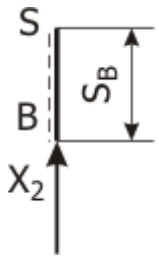
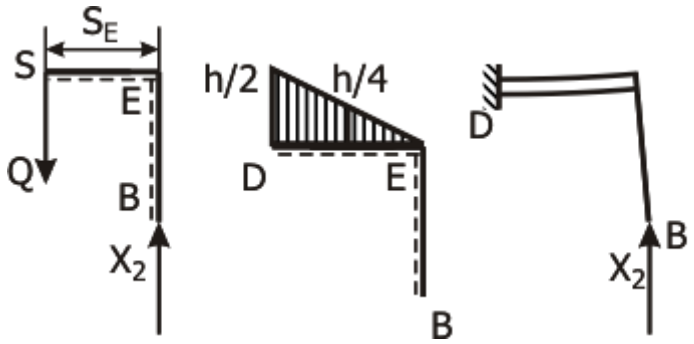


Рис. 9.12 К построению $\bar{M}_2$ на участке BE

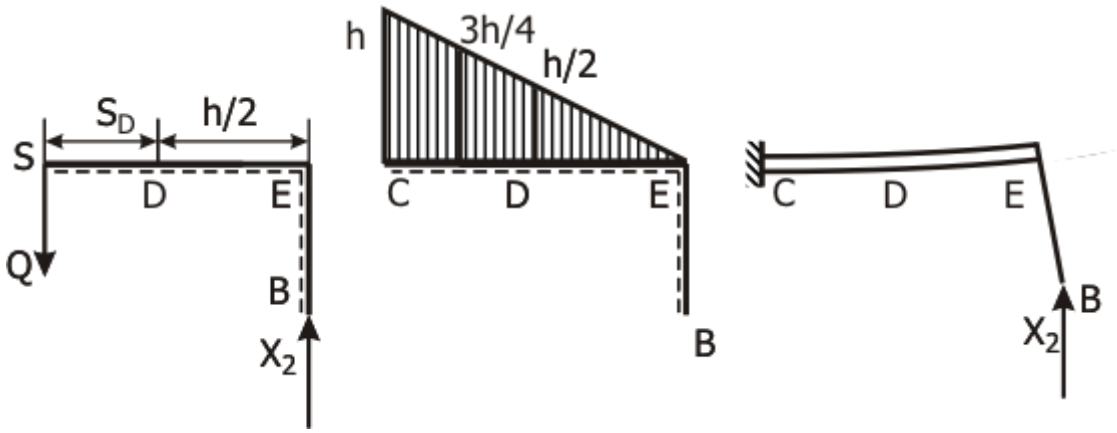
4.2.2. *Участок* ED. Разрезаем в сечении S, лежащем на расстоянии s_E от точки E. Рассматриваем равновесие свободного куска (рис. 9.13). Пунктирная линия на разрезанном участке лежит ниже сплошной, поэтому поворот не нужен. Поперечная сила Q, приложенная в сечении S, уравновешивает силу $\bar{X}_2$ и образует вместе с ней пару сил с моментом $\bar{M}_2 = \bar{X}_2 S_E = S_E$, вращающую кусок в положительном направлении. Значения момента в начале, середине, конце участка равные $\bar{M}_2(0) = 0$, $\bar{M}_2(h/4) = h/4$ и $\bar{M}_2(h/2) = h/2$ отложены на сжатых волокнах.



а б в

Рис. 9.13 К построению $\bar{M}_2$ на участке ED: а) отрезанный кусок; б) эпюра; в) положение сжатых волокон

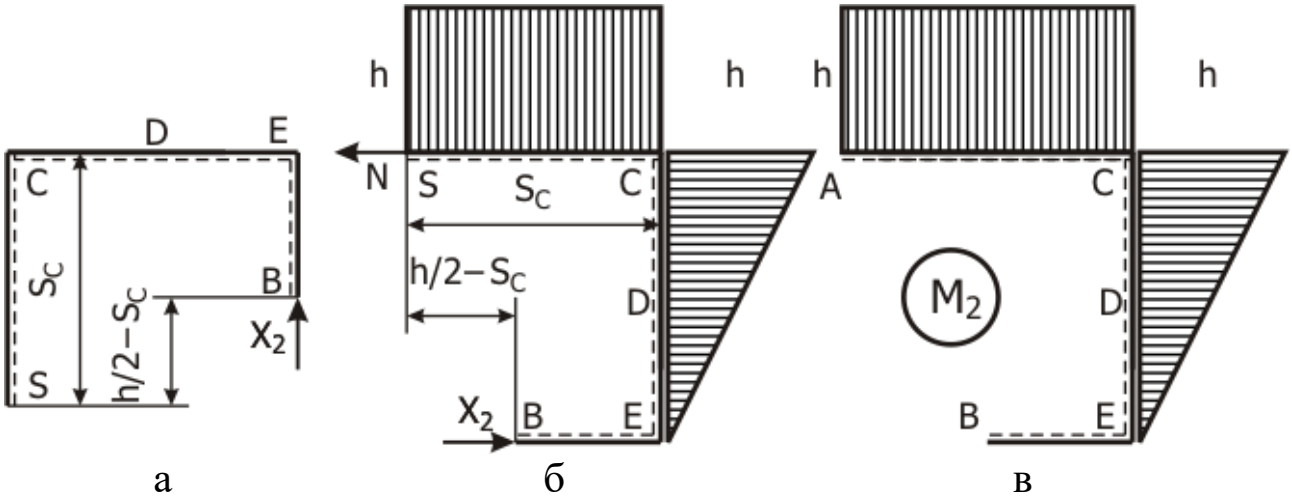
4.2.3. *Участок* DC. Разрезаем в сечении S, лежащем на расстоянии S_D от точки D. Рассматриваем равновесие свободного куска (рис. 9.14.а). Пунктирная линия на разрезанном участке лежит ниже сплошной, поэтому поворот не нужен. Поперечная сила Q, приложенная в сечении S, уравновешивает силу $\bar{X}_2$ и образует вместе с ней пару сил с моментом $\bar{M}_2 = S_E + h/2$, вращающую кусок в положительном направлении. Значения момента в начале, середине, конце участка равные $\bar{M}_2(0) = h/2$, $\bar{M}_2(h/4) = 3h/4$ и $\bar{M}_2(h/2) = h$ отложены на сжатых волокнах (рис. 9.14.б).



а б в

Рис. 9.14 Эпюра $\bar{M}_2$ на участке DC: а) отрезанный кусок; б) эпюра; в) положение сжатых волокон

4.2.4. *Участок* CA. Разрежем раму в сечении S, лежащем на расстоянии S_C (рис. 9.15.а) от точки C. Повернём свободный кусок так, чтобы участок SC был горизонтальным и пунктирная линия лежала ниже сплошной. Сила $\bar{X}_2$ и уравновешивающая её осевая сила $N(S_C)$ образуют пару сил. Момент пары равен $\bar{M}_2(S_C) = \bar{X}_2\,\mathrm{h}$. Значения момента постоянны по длине участка CA. Строим эпюру изгибающего момента на сжатых волокнах.



а б в

Рис. 9.15 Эпюра $\bar{M}_2$ на участке CA: а) отрезанный кусок; б) повёрнутый кусок; в) эпюра

4.2.5. *Аналитические выражения для эпюры* $\bar{M}_2$ применяются в случае аналитического интегрирования:

$$\bar{M}_2 = \begin{cases} 0; & \text{участок } BE \quad 0 \le s_B \le h/2; \\ S_E; & \text{участок } ED \quad 0 \le S_E \le h/2; \\ S_D + h/2; & \text{участок } DC \quad 0 \le S_D \le h/2; \\ h; & \text{участок } CA \quad 0 \le S_C \le h/2. \end{cases}$$

4.3. *Эпюра грузового момента* M_Γ. Рассматриваем раму основной системы, нагруженная силой P и равномерно распределённой нагрузкой q (рис. 9.16). Строим эпюру грузового момента от совместного действия P и q. (Возможно раздельное построение эпюр от P и эпюры от q с последующим суммированием полученных результатов).

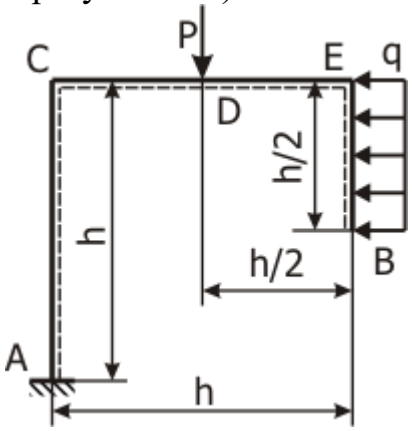


Рис. 9.16 К построению эпюры грузового момента $M_Г$

4.3.1. *Участок* BE. Положительный момент вращает против часовой стрелки. Координата сечения $0 \le S_B \le h/2$ (рис. 9.17.а). Повернём кусок BS в «рабочее» положение (рис. 9.17.б). В «рабочем» положении ось разрезанного участка BS с горизонтальна и подчёркнута пунктиром. Заменим нагрузку q, действующую на кусок, эквивалентной силой qS_B. Эквивалентная сила приложена посередине участка на расстоянии $S_B/2$ от разреза S (рис. 9.17.в). Момент равен $M_Г(S_B) = -qS_B^2/2$. Значения грузового момента в начале, конце, середине участка равны (кН·м):

$$M_Г(0) = -qS_B^2/2 = -5 \cdot \frac{0^2}{2} = 0; \quad M_Г(2) = -qS_B^2/2 = -5 \cdot \frac{2^2}{2} = -10;$$

$$M_Г(1) = -qS_B^2/2 = -5 \cdot \frac{1^2}{2} = -2{,}5.$$

Эпюра приведена на (рис. 9.17.г).

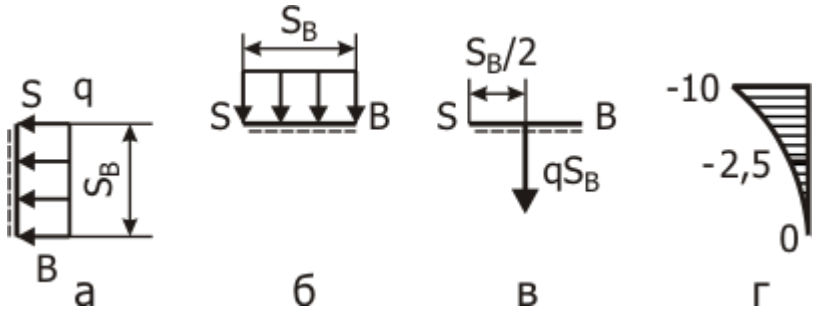


Рис. 9.17 Эпюра грузового момента $M_Г$ на участке BE

4.3.2. *Участок* ED. Отрезанный кусок и выбор координаты сечения S_E показаны на (рис. 9.18.а). Координата изменяется в пределах $0 \le S_E \le h/2$. Поворот не нужен, так как разрезанный участок находится в «рабочем» положении. Заменим нагрузку q, действующую на кусок, эквивалентной силой . Эквивалентная сила приложена посередине участка BE. Её плечо относительно разреза S равно $h/4$ (рис. 9. 18.б). Момент имеет постоянное значение на участке ED равное $M_Г(S_E) = -qh^2/8 = -5 \cdot 4^2/8 = -10$ (кН·м).
Эпюра приведена на (рис. 9. 18.в).

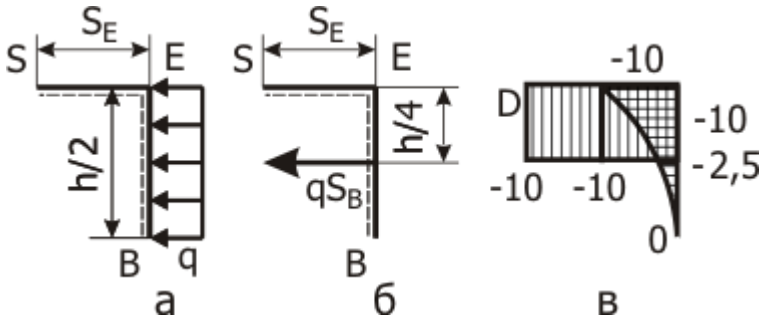


Рис. 9.18 Эпюра грузового момента $M_Г$ на участке ED

4.3.3. *Участок* DC. Отрезанный кусок и выбор координаты разреза S_D показаны на (рис. 9.19.а). Координата изменяется в границах $0 \le S_D \le h/2$.

Поворот не нужен, так как разрезанный участок находится в «рабочем» положении (ось DC горизонтальна, пунктир лежит ниже оси). Заменим нагрузку q, действующую на кусок, эквивалентной силой . Плечо эквивалентной силы относительно разреза S равно $h/4$, а плечо силы P равно S_D (рис. 9.19.б). Момент в сечении с координатой S_D равен $M_Г(S_D) = -qh^2/8 - PS_D$. Значения грузового момента в начале, конце, середине участка DC равны (кН·м):
$M_Г(0) = -qh^2/8 - PS_D = -5 \cdot 4^2/8 - 20 \cdot 0 = -10$;
$M_Г(2) = -qh^2/8 - PS_D = -5 \cdot 4^2/8 - 20 \cdot 2 = -50$;
$M_Г(1) = -qh^2/8 - PS_D = -5 \cdot 4^2/8 - 20 \cdot 1 = -30$.
Эпюра приведена на (рис. 9.19.в).

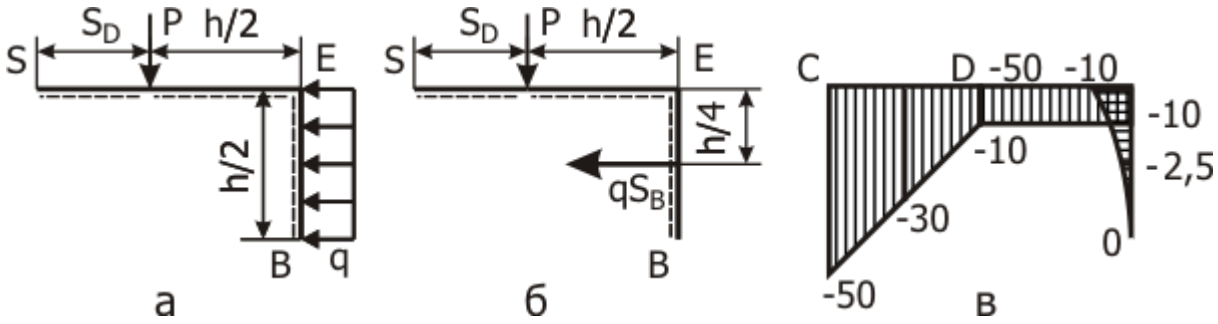


Рис. 9.19 Эпюра грузового момента $M_Г$ на участке DC

4.3.4. *Участок* CA. Отрезанный кусок и выбор координаты разреза S_C показаны на (рис. 9.20.а). Координата изменяется в границах $0 \le S_C \le h$. Поворачиваем кусок и приводим разрезанный участок CA в «рабочее» положение (ось CA горизонтальна, пунктир лежит ниже оси). Заменим нагрузку q, действующую на кусок, эквивалентной силой . Плечо эквивалентной силы относительно разреза S равно $-h/4 + S_C$. Плечо силы P равно (рис. 9.20.б). Момент в сечении с координатой S_C равен . Значения грузового момента в начале, конце, середине участка DC равны, соответственно (кН·м): -50; -30; -10. Эпюра приведена на (рис. 9.20.в).

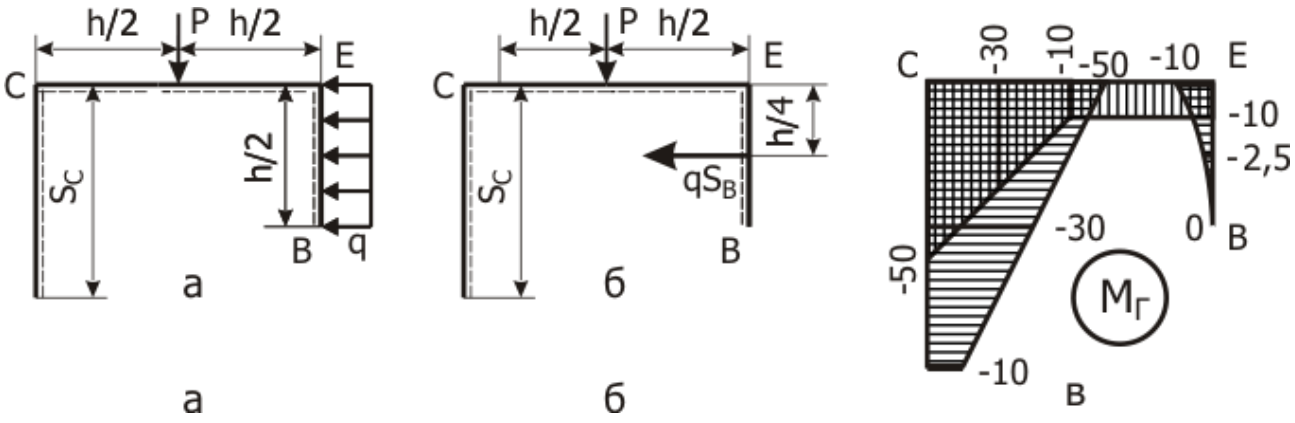


Рис. 9.20 Эпюра грузового момента $M_Г$ на участке AC

4.5. *Аналитические выражения для эпюры* $M_Г$ применяются в случае аналитического интегрирования:

$$M_Г = \begin{cases} qs_B{}^2/2; & \text{участок } BE \quad 0 \le s_B \le h/2; \\ q\mathrm{h}^2/8; & \text{участок } ED \quad 0 \le S_E \le h/2; \\ -pS_D - qh^2/8; & \text{участок } DC \quad 0 \le S_D \le h/2; \\ -p\,h/2 - qh^2/8 + qhs_c; & \text{участок } CA \quad 0 \le S_C \le h/2. \end{cases}$$

5. *Вычисление коэффициентов системы канонических уравнений*

5.1. *Коэффициенты при неизвестных*

Интегралы вычисляем по формуле Симпсона

$$I = \int_0^l f(s)g(s)ds = l/6\left(f(s_н)g(s_н) + 4f(s_с)g(s_с) + f(s_к)g(s_к)\right),$$

где $s_н$, $s_с$, $s_к$ – координаты начала, середины и конца участка интегрирования.

$\delta_{11} = 1/EJ\left(\int_B^E \bar{M}_1^2(s_B)ds_B + \int_E^D \bar{M}_1^2(s_E)ds_E + \int_D^C \bar{M}_1^2(s_D)ds_D + \int_C^A \bar{M}_1^2(s_C)ds_C\right)$. Стержни рамы имеют одинаковую жёсткость, поэтому при раскрытии статической неопределимости жёсткость можно не учитывать.

$$\delta_{11} = 2/6\ (0^2 + 4\cdot 1^2 + 2^2) + 2/6\ (2^2 + 4\cdot 2^2 + 2^2) + 2/6\ (2^2 + 4\cdot 2^2 + 2^2) + 4/6\ (2^2 + 4\cdot 0^2 + (-2)^2) = 24$$

;

$$\delta_{12} = \int_B^E \bar{M}_1(s_B)\bar{M}_2(s_B)ds_B + \int_E^D \bar{M}_1(s_E)\bar{M}_2(s_E)ds_E + + \int_D^C \bar{M}_1(s_D)\bar{M}_2(s_D)ds_D + \int_C^A \bar{M}_1(s_C)\bar{M}_2(s_C)ds_C$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 2/6\,(0\cdot 0 + 4\cdot 1\cdot 0 + 2\cdot 0) + 2/6\,(2\cdot 0 + 4\cdot 2\cdot 1 + 2\cdot 2) + 2/6\,(2\cdot 2 + 4\cdot 2\cdot 3 + 2\cdot 4) + 4/6\,(2\cdot 4 + 4\cdot 0\cdot 4 + (-2)\cdot 4) = 16;$$

$\delta_{22} = \int_B^E \bar{M}_2^2(s_B)ds_B + \int_E^D \bar{M}_2^2(s_E)ds_E + \int_D^C \bar{M}_2^2(s_D)ds_D + \int_C^A \bar{M}_2^2(s_C)ds_C.$

$$\delta_{22} = 2/6\ (0^2 + 4\cdot 0^2 + 0^2) + 2/6\ (0^2 + 4\cdot 1^2 + 2^2) + 2/6\ (2^2 + 4\cdot 3^2 + 4^2) + 4/6\ (4^2 + 4\cdot 4^2 + 4^2) = 85{,}3.$$

5.2. *Грузовые коэффициенты*.

$$\Delta_1 = \int_B^E \bar{M}_1(s_B)M_Г(s_B)ds_B + \int_E^D \bar{M}_1(s_E)M_Г(s_E)ds_E + + \int_D^C \bar{M}_1(s_D)M_Г(s_D)ds_D + \int_C^A \bar{M}_1(s_C)M_Г(s_C)ds_C;$$

$$\Delta_1 = 2/6\,(0\cdot 0 + 4\cdot 1\cdot(-2{,}5) + 2\cdot(-10)) - 2/6\,(2\cdot 10 + 4\cdot 2\cdot 10 + 2\cdot 10) - -2/6\,(2\cdot 10 + 4\cdot 2\cdot 30 + 2\cdot 50) - 4/6\,(2\cdot 50 + 4\cdot 0\cdot 30 + (-2)\cdot 10) = -22300;$$

$$\Delta_2 = \int_B^E \bar{M}_2(s_B)M_Г(s_B)ds_B + \int_E^D \bar{M}_2(s_E)M_Г(s_E)ds_E + + \int_D^C \bar{M}_2(s_D)M_Г(s_D)ds_D + \int_C^A \bar{M}_2(s_C)M_Г(s_C)ds_C;$$

$$\Delta_2 = -2/6\,(0\cdot 0 + 4\cdot 0\cdot 2{,}5 + 2\cdot 10) - 2/6\,(0\cdot 10 + 4\cdot 1\cdot 10 + 2\cdot 10) - -2/6\,(2\cdot 10 + 4\cdot 3\cdot 30 + 4\cdot 50) - 4/6\,(4\cdot 50 + 4\cdot 4\cdot 30 + 4\cdot 10) = -693.$$

6. *Решение системы канонических уравнений метода сил.*

Получена система канонических уравнений метода сил

$$\begin{cases} 24X_1 + 16\,X_2 - 22300 = 0; \\ 16\,X_1 + 85{,}3X_2 - 693 = 0. \end{cases}$$

Корни системы: $X_1 = 4{,}44$; и $X_2 = 7{,}29$.

7. *Эпюры внутренних силовых факторов в заданной раме*.

7.1. *Изгибающий момент*. Действующий в раме момент находим по формуле:

$$M(s) = M_\Gamma(s) + X_1\bar{M}_1(s) + X_2\bar{M}_2(s).$$

Моменты, действующие на отдельных стержнях рамы, равны:

$M(s_B = 0) = 0 + 4{,}44 \cdot\ 0 + 7{,}29 \cdot 0 = 0$;

$M(s_B = 1) = -2{,}5 + 4{,}44 \cdot 1 + 7{,}29 \cdot 0 = 1{,}94$;

$M(s_B = 2) = M(s_E = 0) = -10 + 4{,}44 \cdot 2 + 7{,}29 \cdot 0 = -1{,}11$;

$M(s_E = 1) = -10 + 4{,}44 \cdot 2 + 7{,}29 \cdot 1 = 6{,}18$;

$M(s_E = 2) = M(s_D = 0) = -10 + 4{,}44 \cdot 2 + 7{,}29 \cdot 2 = 13{,}5$;

$M(s_D = 1) = -30 + 4{,}44 \cdot 2 + 7{,}29 \cdot 3 = 0{,}764$;

$M(s_D = 2) = M(s_C = 0) = -50 + 4{,}44 \cdot 2 + 7{,}29 \cdot 4 = -11{,}9$;

$M(s_C = 2) = -30 + 4{,}44 \cdot 0 + 7{,}29 \cdot 2 = -0{,}833$;

$M(s_C = 4) = -10 + 4{,}44 \cdot (-2) + 7{,}29 \cdot 4 = 10{,}3$.

Эпюра изгибающих моментов в статически неопределимой раме построена на рис. 9.21.а

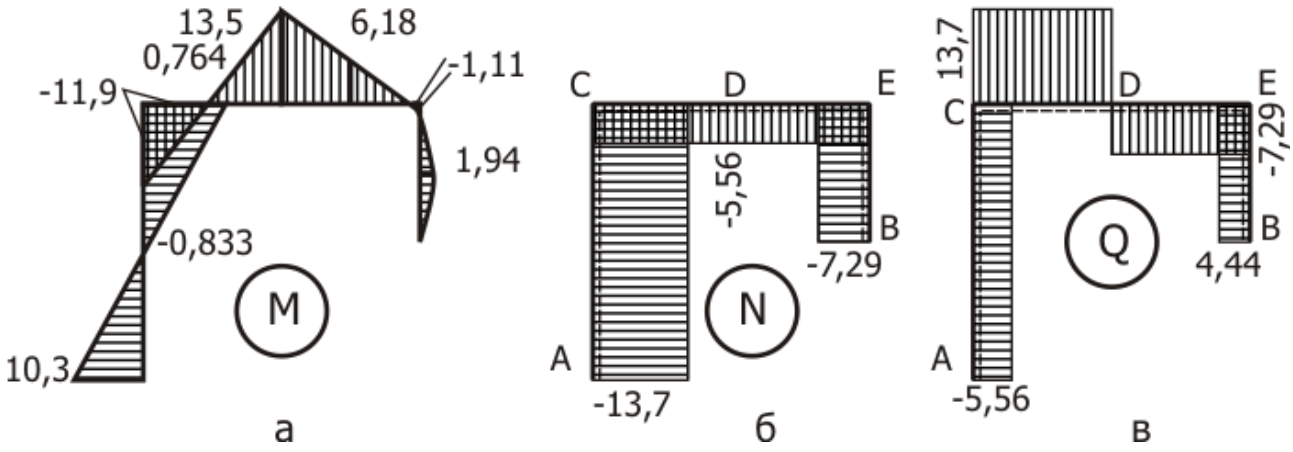


Рис. 9.21 Эпюры момента M, осевой силы N, поперечной силы Q

7.2. *Опорные реакции* X_A, Y_A. Из уравнений равновесия получаем:

$\sum X = 0; \quad X_A = q\,h/2 - X_1 = 5 \cdot 4/2 - 4{,}44 = 5{,}56$ кН;

$\sum Y = 0; \quad Y_A = P - X_2 = 20 - 7{,}29 = 12{,}7$ кН.

7.3. *Эпюра осевых сил* N. Растягивающую силу считаем положительной и откладываем на наружных волокнах стержня (рис. 9.21.б).

7.4. *Эпюра поперечной силы* Q. Поперечной сила считается положительной, если она вместе с внешней нагрузкой поворачивает отрезанный кусок по ходу стрелок часов. Эпюра Q приведена на рис. 9.21.в.

8. *Деформационная проверка.* Проверка состоит в проверке выполнения условий обращения в нуль интегралов:

$D1 = \sum 1/EJ \int M(s)\bar{M}_1(s)ds; \quad D2 = \sum 1/EJ \int M(s)\bar{M}_2(s)ds.$

В результате вычислений получаем: $D1 = -0{,}0000553, \quad D2 = 0{,}000213$.

9. *Подбор сечения двутавровой балки*.
$W = M_{max}/[\sigma] = 13{,}5 10^3/1{,}6\,10^8 = 8{,}43 \cdot 10^{-5}$ м^3 . Выбираем двутавр №16.
$W_{16} = 109 \cdot 10^{-4}$ м^3

ОФОРМЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчётно-пояснительная записка дипломного проекта выполняется на листах формата А4 (210х297 мм) в соответствии с ГОСТ 2.301-68. ЕСКД.

Листы должны иметь нумерацию. При оформлении записки на титульном листе указать тему РГР, фамилию, инициалы студента, специальность и группу.

При выполнении задания все преобразования и числовые расчёты должны быть последовательно проделаны с необходимыми пояснениями.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ицкович Г. М., Минин Л. С., Винокуров А. И.*Руководство к решению задач по сопротивлению материалов. М.:Высшая школа,1999.

2. *Мокрушин Н. В., Ляпцев С. А.*Конспект лекций по сопротивлению материалов. Екатеринбург, Издание УГГУ, 2005.

3. *Степин П.А.* Сопротивление материалов. М.: Лань, 2010.

Учебное издание

Чиркова Алена Анатольевна, Золкин Анатолий Павлович,
Суслов Дмитрий Николаевич, Афанасьев Анатолий Ильич,

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие
и контрольные задания для выполнения РГР
и самостоятельной работы студентов специальности *21.05.04 Горное дело*

Редактор *В.В. Баклаева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 5,2 Уч. изд. л. 1,72 Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие
по курсу «Технология машиностроения»
для студентов специальности
15.03.01 – «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
«20» января 2011 г.
Председатель комиссии
_ проф. В. П. Барановский

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие
по курсу «Технология машиностроения»
для студентов специальности
130602 – «Машины и оборудование
нефтяных и газовых промыслов» (МНГ)
направления
130600 – «Оборудование и агрегаты
нефтегазового производства»
очного и заочного обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2011

Г54

Рецензент: *А. П. Комиссаров,* д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 7 июля 2011 г. (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Г54 **Глинникова Т. П., Волегов С. А.**
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ: учебное пособие по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальности 130602 – «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (МНГ) направления 130600 – «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» очного и заочного обучения / Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. – 80 с.

Учебное пособие по курсу «Технология машиностроения» является общетеоретическим разделом данного курса и содержит теоретические основы предмета «Технология машиностроения». Учебное пособие может быть использовано студентами специальности 150402 – «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» при изучении курса «Технология производства горных машин» очного и заочного обучения.

© Глинникова Т. П., Волегов С. А., 2011
© Уральский государственный горный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Технология машиностроения – это отрасль науки, изучающая закономерности, действующие в процессе изготовления машин с целью обеспечения требуемого качества машин.

В соответствии с программой в курсе технологии машиностроения изучаются, в основном, процессы механической обработки и сборки машин. Это объясняется тем, что заданная форма, точность обработки и качество поверхностного слоя, в основном, достигается путем механической обработки, так как другие способы обработки не всегда могут обеспечить выполнение технических требований.

В курсе не рассматривается сущность технологических методов, а дается их сравнительная характеристика с целью возможности построения наиболее рациональных, т. е. наиболее, производительных и экономичных технологических процессов обработки деталей машин.

В технологии машиностроения комплексно изучаются вопросы взаимодействия станка, приспособления, режущего инструмента и обрабатываемой детали.

Технология машиностроения, как научная дисциплина, разработана трудами советских ученых на основе интенсивного развития машиностроения в годы советской власти. Начало формирования этой дисциплины относится к тридцатым годам XX века.

Машиностроение обеспечивает изготовление новых и совершенствование имеющихся машин. Это связано с весьма существенными затратами, которые составляют в народном хозяйстве ощутимую долю. Тем не менее, развитие отечественного машиностроения, а не импорт машин, является единственно правильным направлением в прогрессивном развитии промышленности.

Конструирование и изготовление машин представляет собой два этапа единого процесса. Эти этапы неразрывно связаны между собой. Уже нельзя себе представить конструирование без учета технологичности конструкции. Технологичная конструкция позволяет экономить затраты труда, повышать точность, использовать высокопроизводительное оборудование, оснастку и инструменты, экономить энергию. Чем более технологичной оказывается конструкция, тем совершеннее и дешевле будет ее производство, в ходе подготовки которого не требуется проводить корректировок чертежей и доделок.

Отличительной особенностью современного машиностроения является существенное ужесточение эксплуатационных характеристик машин: увеличиваются скорость, ускорение, температуры, уменьшаются масса, объем, вибрация, время срабатывания механизмов и т. п. Темпы такого ужесточения постоянно возрастают и машиностроители вынуждены все быстрее решать конструкторские и технологические задачи. В условиях рыночных отношений быстрота реализации принятых решений играет главенствующую роль.

На этапе изготовления машин особое внимание обращают на их качество и его важнейший показатель – точность. В истекшем столетии точность деталей машин выросла почти в 2000 раз. Такого увеличения не наблюдается ни по одному из показателей служебных характеристик.

Увеличение быстроходности машин вызывает повышение требований к надежности и долговечности. А это, в свою очередь, ставит перед технологической наукой задачи по более широкому внедрению методов обработки, приводящих к упрочнению поверхностного слоя деталей.

Для того, чтобы повысить эффективность от внедрения новых машин, подготовка производства и освоение новых машин должны вестись в более сжатые сроки, поэтому следует развивать поточное производство на основе групповой обработки деталей и типизации технологических процессов.

Практическому применению прогрессивных технологических процессов, оснастки и оборудования содействует единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), которая внедряется на машиностроительных предприятиях. В механообработке, наряду с внедрением скоростной обработки, проводится работа по дальнейшему сокращению вспомогательного времени.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Производственный и технологический процессы

Процесс изготовления машин состоит из большого комплекса операций: это получение заготовок, их обработка и сборка машин. Кроме этих основных работ требуется выполнять еще многие вспомогательные работы, без которых изготовление продукции невоз-

можно, например, контроль деталей, изготовление приспособлений, ремонт станков и т. п.

В связи с этим различают **производственный и технологический**, процессы.

Под ***производственным процессом*** понимается совокупность всех действий людей и машин, связанных с превращением материалов и полуфабрикатов в готовую продукцию (заготовки, детали или машины). В производственный процесс входят все процессы и работы, выполняемые на машиностроительном предприятии, в том числе и все вспомогательные процессы. И, в связи с этим, различают основное и вспомогательное производства.

К основному производству относится все то, что связано с изготовлением основной продукции данного предприятия.

К вспомогательному производству – изготовление и ремонт средств технологического оснащения.

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, непосредственно связанного с изменением формы, размеров ила свойств предмета от начала производства до получения готовой продукции.

Технологический процесс состоит из следующих стадий: производство заготовок, обработка деталей и сборка.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах. Под рабочим местом понимается часть площади цеха, предназначенная для выполнения работы одним рабочим или группой рабочих. На рабочем месте имеется необходимое технологическое оборудование.

Машиностроительные заводы состоят из отдельных производственных единиц – цехов.

В состав машиностроительного завода входят следующие группы цехов:

1. Заготовительные. К ним относятся литейный, кузнечнопрессовый и др.

2. Обрабатывающие. К ним относятся механический, термический, деревообрабатывающий, сборочный и др.

3. Вспомогательные. К ним относятся инструментальный, ремонтно-механический и др.

4. Подсобное хозяйство. К этой группе относятся: складское хозяйство, транспорт, энергетика, санитарно-техническая часть и др.

1.2. Типы производства, формы организации и виды технологических процессов

Тип производства – классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий.

Объем выпуска изделий – количество изделий определенных наименований, типоразмера и исполнения, изготовленных или ремонтируемых объединением, предприятием или его подразделением в течение планируемого интервала времени.

Реализуют следующие типы производства: единичное; серийное и массовое.

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций $К_{з.о.}$ – отношение числа всех различных технологических операций **О**, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест **Р.** $К_{з.о.} = О/Р$.

Формы организации технологических процессов. В соответствии со стандартами системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП – ГОСТ Р 15.000-94) устанавливается две формы организации технологических процессов: групповая и поточная.

Групповая форма организации техпроцессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест. Или иначе, групповая форма – это форма организации производства, характеризуемая совместным изготовлением или ремонтом групп изделий различной конфигурации на специализированных рабочих местах. Основой при групповой форме организации техпроцессов должно быть группирование изделий по конструктивно-технологическим признакам.

Поточная организация производства характеризуется расположением технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и специализации рабочих мест. Поточную форму организации техпроцессов в зависимости от номенклатуры одновременно обрабатываемых изделий подразделяют на однономенклатурную поточную линию и многономенклатурную поточную линию.

Виды технологических процессов. По степени унификации

различают следующие виды технологических процессов: единичный, типовой и групповой. Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группы однотипных изделий). Наименование процессов устанавливают по стандартам СРПП.

Единичный технологический процесс – технологический процесс, относится к изделиям одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – технологический процесс, характеризуемый единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Типовой процесс применяется:

а) как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса;

б) как рабочий технологический процесс при наличии всей необходимой информации для изготовления детали, или как база для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Типовой технологический процесс может являться совокупностью типовых технологических операций, которые характеризуются единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Групповой технологический процесс – технологический процесс, характеризуемый единством методов обработки с использованием однородных и быстро переналаживаемых приспособлений для групп изделий даже с разными конструктивными признаками. Групповой технологический процесс может состоять из групповых технологических операций, которые являются общими для групп различных деталей с определенной групповой оснасткой на данном оборудовании.

Таким образом, групповой технологический процесс – это совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих изготовление различных деталей группы (или нескольких групп) по общему технологическому маршруту.

Каждый вид технологических процессов характеризуется следующими признаками:

а) основным назначением процесса: рабочий, перспективный;

б) степенью детализации содержания процесса: маршрутный, операционный, маршрутно-операционный.

Рабочий технологический процесс – технологический процесс, выполняемый по рабочей и (или) конструкторской документации (применяется: для изготовления в соответствии с требованиями рабочей технической документации).

Перспективный технологический процесс – технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

Маршрутный технологический процесс – технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание операций приводится без указания переходов и режимов обработки (технологический маршрут – последовательность прохождения заготовки, детали или сборочной единицы по подразделениям предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта).

Операционный технологический процесс – выполняется по документации, в которой содержание операций излагается с указанием переходов и режимов обработки.

Маршрутно-операционный технологический процесс – выполняется по документации, в которой содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

1.3. Структура технологического процесса и его основные характеристики

Все определения, касающиеся структуры технологического процесса, даны ниже в соответствии со стандартом ГОСТ 3.1109–82 (Процессы технологические, основные термины и определения).

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) последующему определению состояния предмета труда; таким образом, при реализации технологического процесса происходит изменение качественного состояния объекта производства (химических и физических свойств материала, форм, размеров, качества поверхности, внешнего вида объекта и т. д.; в техпроцесс включен также контроль качества).

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (или с использованием одной тех-

нологической системы). Название операции дается **по названию станка**, на котором выполняется данная операция.

Пример: обработка ступенчатого валика при установке в центрах (рис. 1) может осуществляться за одну или несколько операций.

На рис. 1 показана установка вала для обработки поверхностей *1* и *2*, поверхность *3* при этой установке нельзя обработать, так как здесь находится хомутик. Для того чтобы обработать поверхность *3*, нужно деталь переустановить, т. е. выполнить следующую установку.

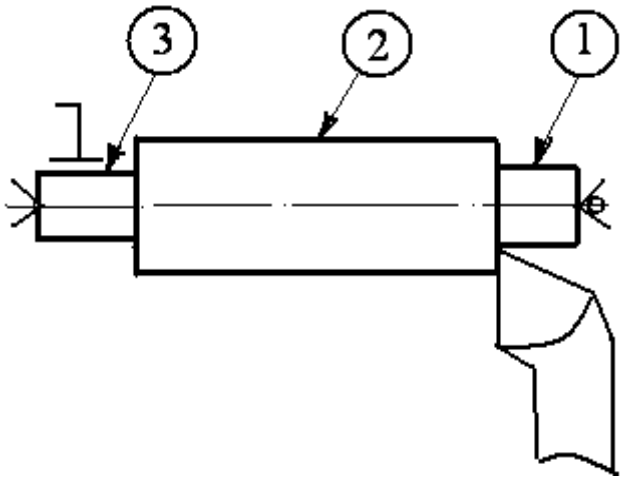


Рис. 1. Схема обработки вала точением

Установ – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Предположим нужно фрезеровать две лыски (поверхность *1*) на детали) рис. 2. Обработка каждой лыски может осуществляться при изменении установки детали, например, в машинных тисках. Однако можно применить приспособление, например, делительную головку. При этом деталь один раз закрепляется в патроне, а для обработки второй лыски не раскрепляется, а лишь поворачивается в нужное положение относительно режущего инструмента.

Технологический переход – законченная часть технологической

операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установках. Обработка поверхности *1* – первый переход, а поверхности *2* – новый, второй переход, и т. д. (см. рис. 1). Если обработка осуществляется по схеме, изображенной на (рис. 3), то обработка поверхностей *1 – 3* рассматривается как **один переход** (смотри формулировку).

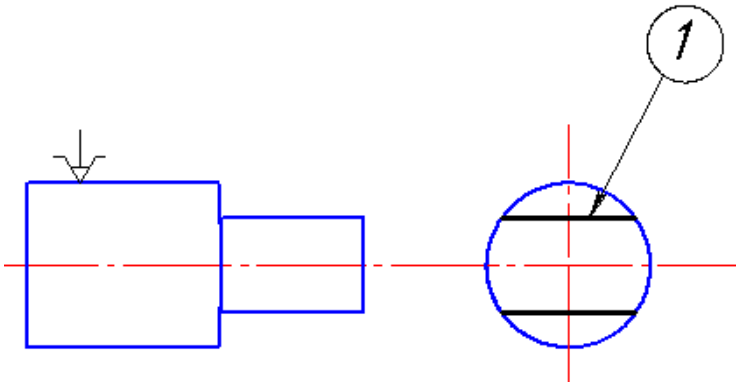


Рис. 2. Схема обработки вала фрезерованием

Если последовательно выполняется **несколько одинаковых** переходов, то они рассматриваются как один переход.

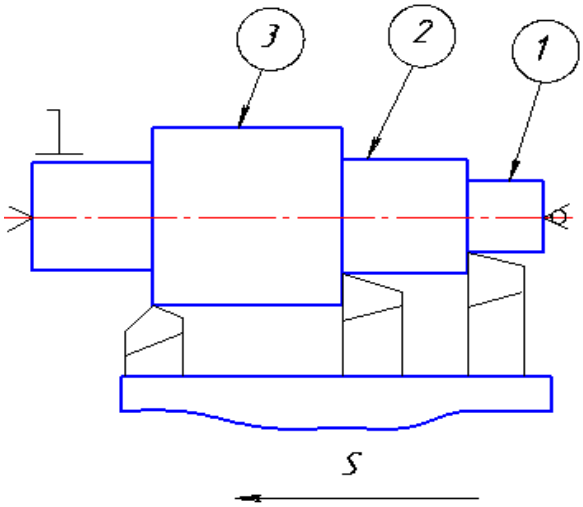


Рис. 3. Схема одного перехода точением нескольких поверхностей одновременно

Например, нужно сверлить три отверстия в детали (рис. 4). Одинаковым считается такой переход, который выполняется одним инструментом при одинаковых режимах резания и одинаковых разме-

рах обрабатываемых поверхностей.

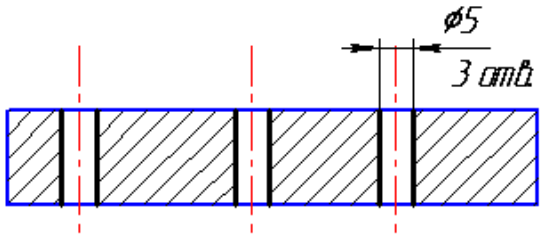


Рис. 4. Схема одного перехода (сверление нескольких одинаковых отверстий)

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Ход. Если с поверхности требуется снять большой слой металла и за один раз это сделать невозможно, то приходится обработку данной поверхности повторять несколько раз. При этом различают рабочие и вспомогательные ходы.

Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождающаяся изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки (рис. 5).

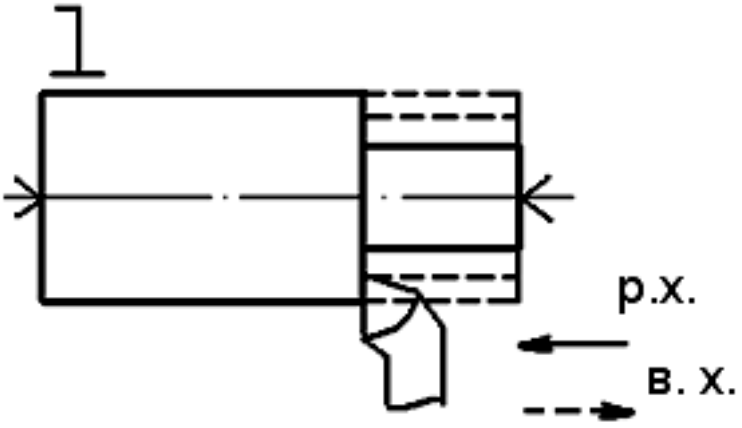


Рис. 5. Схема многопроходного точения с указанием рабочего хода и вспомогательного

Вспомогательный ход (в. х.) – часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождающаяся изменением размеров, формы и шероховатости поверхности, но необходимая для выполнения рабочего хода

(см. рис. 5).

2. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА

В машиностроении различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое. Между этими основными типами производства имеются не только количественные различия (по количеству выпускаемых машин), но имеются существенные качественные различия (применяемое оборудование, приспособления и др.).

Единичное (индивидуальное) производство характеризуется широкой номенклатурой изготовляемых изделий и малым объемом выпуска. Конструкции изделий разнообразны. Если в течение года выпускается несколько одинаковых изделий, то они изготавливаются последовательно. Заводы единичного производства не имеют четко выраженной специализации. Продукция этих заводов разнообразная, за исключением некоторых заводов машиностроения, изготавливающих крупные уникальные машины. В связи с этим на заводах единичного производства применяются универсальные станки, приспособления, стандартный режущий и измерительный инструмент. Многие детали устанавливаются и обрабатываются по разметке. Поэтому при обработке деталей много времени затрачивается на установку, выверку и крепление, деталей, а при сборке – на слесарную пригонку. На этих заводах требуются рабочие высокой квалификации. Станки располагаются по признаку однородности обработки, т. е. создаются участки станков, предназначенных для одного вида обработки – токарных, строгальных, фрезерных и др. Коэффициент закрепления операций ($К_{з.о.}$) > 40.

Заготовки делаются с большими припусками. Они лишь приближенно по форме и размерам соответствуют обрабатываемой детали, коэффициент использования металла, определяемый отношением массы детали к массе заготовки, равен 0,5, поэтому при обработке много металла превращается в стружку. При обработке на одном станке стараются обрабатывать возможно большее количество поверхностей, вплоть до полной обработки всей детали. Для заводов единичного производства, характерна самая низкая производительность и самая высокая себестоимость. Удельный вес заводов единичного производства невысок.

К заводам единичного производства относятся экспериментальные заводы. Заводы выпускают уникальные изделия, например, прокатные станы.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значение коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Коэффициент закрепления операций в соответствии со стандартом принимают равным:

1) для мелкосерийного производства – свыше 20 до 40 включительно;
2) среднесерийного производства – свыше 10 до 20 включительно;
3) крупносерийного производства – свыше 1 до 10 включительно.

Основные признаки серийного производства:

- станки применяются разнообразных типов: универсальные, специализированные, специальные, автоматизированные;
- кадры различной квалификации;
- работа может производиться на настроенных станках;
- применяется и разметка, и специальные приспособления;
- сборка без пригонки и т. д.;
- оборудование располагается в соответствии с предметной формой организации работы.

Станки располагаются в последовательности технологических операций для одной или нескольких деталей, требующих одинакового порядка выполнения операций. В той же последовательности, очевидно, образуется и движение деталей (так называемые предметно-замкнутые участки). Обработка заготовок производится партиями. При этом время выполнения операций на отдельных станках может быть не согласовано со временем операций на других станках.

Изготовленные детали хранятся во время работы у станков и затем транспортируются всей партией.

При серийном производстве изделия выпускаются сериями, а детали в цехах изготавливаются партиями. Размер серии может колебаться от 5 – 10 шт. до нескольких тысяч. Все детали одной партии находятся в производстве одновременно. В цехах имеет место частичная специализация станков, отдельные операции закрепляются за определенными станками. В зависимости от количества изделий в серии и размеров машин в серийном производстве различают мелко-, средне- и крупносерийное производство. В серийном производстве

технологический процесс преимущественно расчленяется на отдельные операции, которые закрепляются за отдельными станками.

На заводах серийного производства применяются разнообразные виды оборудования: универсальные, специальные, автоматизированные и агрегатные станки. Широко применяются универсальные, специализированные и специальные приспособления, универсальный, и специальный режущий инструмент. Измерительный инструмент применяется как универсальный, так и предельные калибры.

Заготовки по форме и размерам приближаются к размерам и форме обрабатываемой детали. Припуски на обработку уменьшаются. Коэффициент использования металла равен 0,7. Серийное производство значительно экономичнее единичного.

Серийное производство является самым распространенным типом производства, его удельный вес примерно 70 – 80 %. К заводам серийного производства относятся станкостроительные и горного машиностроения.

На заводах серийного производства применяются две формы организации производства.

Первая – обычная серийная форма. В этом случае станки устанавливается по групповому признаку. Время обработки на отдельных станках не согласуется. Детали обрабатываются партиями. После обработки всей партии на одном станке они передаются на другой станок.

Вторая – переменно-поточная форма. В этом случае оборудование располагается по ходу технологического процесса (в порядке последовательной обработки). Время обработки на отдельных операциях согласуется. Оно должно быть равно или кратно такту выпуска данной линии. Движение заготовки от станка к станку осуществляется непрерывно. Для перехода к обработке партии других деталей осуществляется переналадка линии (приспособлений, инструментов).

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени. Характерной особенностью массового производства является поточный метод производства с выполнением на подавляющем большинстве рабочих мест постоянно повторяющихся операций.

Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Таким образом, изделия изготовляются в большом количестве

длительное время, конструкция изделия меняется плавно. Используется рабочая сила низкой квалификации при наличии настройщиков, оборудование автоматизированное, полная взаимозаменяемость при сборке. Массовому производству присуща поточная форма организации производства, при которой операции обработки или сборки машины закреплены за определенным оборудованием или рабочими местами, оборудование расположено в порядке выполнения операций, а изготовляемая деталь передается с одной операции на следующую сразу после выполнения предшествующей операции, как правило, с помощью специальных транспортных устройств. На заводах массового производства применяются высокопроизводительные станки, предназначенные для выполнения какой-либо операции над конкретной деталью. Широко применяются высокопроизводительные приспособления, режущие инструменты. Широкое применение предельных калибров обеспечивает высокую, вплоть до полной, взаимозаменяемость и полное устранение пригоночных работ при сборке. К заводам массового производства относятся заводы, выпускающие автомобили, тракторы и др.

На заводах массового производства применяются две формы организации производства: *поточно-массовая и массово-прямоточная.* И в том, и в другом случае оборудование располагается в порядке технологической последовательности. Различие состоит в том, что в поточно-массовом производстве (непрерывный поток) время обработки на всех станках согласуется. Оно равно или кратно такту выпуска линии, мин:

$$\tau = \frac{60 F_{д} m}{N},$$

где $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени (при 254 рабочих днях в году и 8 часовой смене) час; m – количество смен в сутках; N – годовой объем выпуска деталей, шт.

После обработки детали на одном станке она сразу передается на другое рабочее место. Детали перемещаются автоматически при помощи конвейеров. Технологический процесс разбивается на простейшие операции.

При прямоточном методе (пульсирующий поток) время обработки не на всех станках согласуется с одним тактом. Вследствие равной трудоемкости операций движение заготовок десинхронизировано. В этом случае применяются сложные операции, выполняемые

на сложных многоинструментальных станках.

Выбор метода построения поточного производства определяется технико-экономическим анализом.

Несмотря на то, что массовое производство является самым эффективным, у него есть сёрьезный недостаток: массовое производство не позволяет быстро и без больших потерь переходить на новый вид продукции.

Пути повышения эффективности серийного производства.

Серийное производство является самым распространенным типом производства. Однако эффективность серийного производства значительно ниже массового. Естественно, что нельзя сделать искусственно все серийные заводы заводами массового производства. Поэтому перед технологией машиностроения стоит задача создать на заводах серийного производства условия для использования достоинств массового производства.

Добиться повышения серийности без увеличения объема производства можно используя один из трех путей: *конструкторский, технологический и организационный,* или все вместе.

Конструкторский путь основан на широком внедрении нормализации и унификации деталей, узлов и машин.

Применение унификации позволяет без увеличения программы привести к одному типоразмеру ряд различных деталей и за счет этого увеличить размер партии одинаковых деталей.

Технологический путь основан на применении прогрессивных направлений при разработке технологических процессов. А именно, применение типизации технологических процессов и групповая обработка деталей.

Организационный путь основан на организации группового запуска. Для осуществления этого в одном заказе объединяет несколько одинаковых или аналогичных деталей, встречавшихся в различных заказах месячной или квартальной программы.

Рассмотрим более подробно технологический путь.

Типизация технологических процессов предложена советским ученым, проф. Соколовским А. П. Сущность идеи типизации состоит в том, что одинаковые детали или близкие по конфигурации должны обрабатываться по одинаковой технологии с использованием одинакового оборудования, приспособлений и инструмента. Это приводит к тому, что трудоемкость подобных деталей одинакова. И, кроме того, это создает возможность спроектировать оптимальные техноло-

гические процессы. Типизация технологических процессов базируется на классификации деталей. Соколовский А. П. подразделил все машиностроительные детали на классы: валы, зубчатые колеса, рычаги и др.

Классы подразделяются на группы, подгруппы и типы.

Под типом понимается совокупность деталей, имевших одинаковый технологический процесс, осуществляемый на одинаковом оборудовании и приспособлениях. В пределах типа допускаются некоторые отклонения, связанные с введением дополнительных операций.

Для осуществления типизации следует проделать большую подготовительную работу. Разработать классификатор деталей и разработать технологические процессы.

Достоинством типизации является:

1. Приводятся в систему технологические процессы.

2. Резко сокращается труд технологов и сроки подготовки производства.

3. Создаются предпосылки для использования методов массового производства в условиях серийного производства.

Групповая обработка предложена советским ученым, проф. Митрофановым С. П. Групповая обработка является дальнейшим развитием типизации технологических процессов.

В основе групповой обработки также находится технологическая классификация. Однако в этом случае под классом понимается совокупность деталей, характеризуемая общностью типа оборудования.

Для осуществления групповой обработки кроме выделения классов следует решить главную задачу – формирование группы. Под группой понимается совокупность деталей, имеющих одинаковые обрабатываемые поверхности, допускающие обработку с одной наладки. У этих деталей совсем не обязательно должен быть одинаковый технологический процесс.

Для осуществления групповой обработки следует выполнить следующие работы (рис. 6):

1. Подобрать детали в группу.

2. Определить фактическую трудоемкость обработки всех деталей.

3. На основании фактической трудоемкости окончательно сформировать состав группы.

4. Разработать комплексную деталь. Комплексная деталь – это реальная или нереальная деталь, содержащая в себе все поверхности, встречающиеся в деталях данной группы.

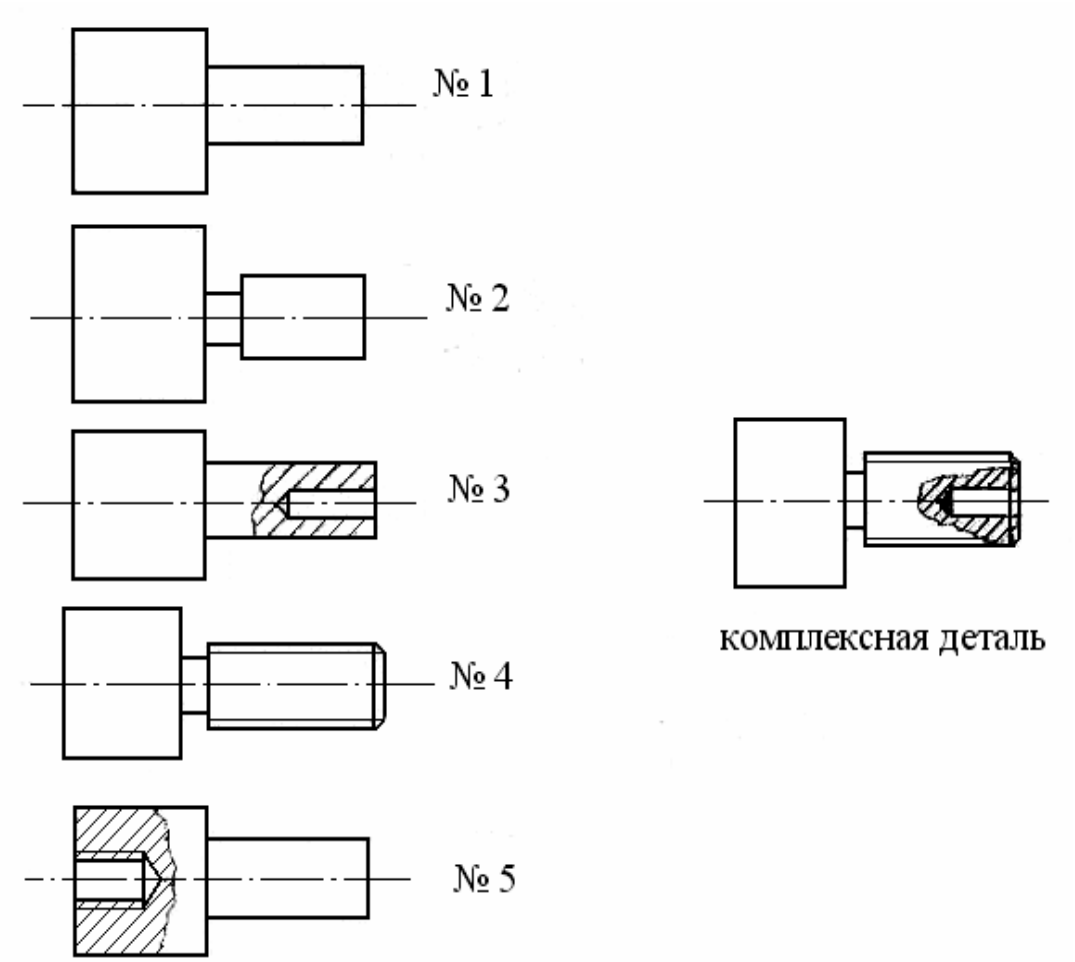


Рис. 6. Детали для групповой обработки

5. Для комплексной детали проектируются и изготавливаются необходимые приспособления и осуществляется наладка станка.

Например, обработка данной группы будет осуществляться натокарно-револьверном станке из прутка. В револьверной головке будут установлены все необходимые режущие инструменты. При обработке конкретной детали позиция с ненужным режущим инструментом пропускается.

Достоинствами групповой обработки является то, что в результате ее применения увеличивается размер партии, а следовательно, можно применить более прогрессивный технологический процесс, более совершенное оборудование, режущий и измерительный инструменты. Кроме рассмотренных путей увеличения серийности про-

грессивным направлением является широкое применение на заводах серийного производства станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и станков «типа обрабатывающие центры».

Особенностью станков с ЧПУ является то, что они могут эффективно применяться при обработке небольших партий, так как остаются универсальными и в то же время работают по автоматическому циклу, по заранее разработанной программе.

3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Под качеством поверхностного слоя понимается состояние поверхностного слоя, получаемое в результате воздействия на него различных физических явлений, сопровождающих процесс резания, и режима резания.

Качество поверхностного слоя характеризуется шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности обуславливается наличием на поверхности гребешков и впадин с малым шагом на базовой длине.

Волнистость характеризуется совокупностью периодически повторяющихся возвышений и впадин со сравнительно большим шагом (превышающим базовую длину).

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются его твердостью, структурным и фазовым состоянием, знаком и величиной остаточных напряжений.

3.1. Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства детали

Обеспечение необходимой работоспособности машин и длительное сохранение её во многом зависят от качества поверхностного слоя. Установлено, что основной причиной выхода из строя машин является износ рабочих поверхностей сопряженных деталей (около 80 %). Значительно реже наблюдаются поломки, возникающие либо за счет конструкторских ошибок (мала усталостная прочность), либо из-за некачественного изготовления.

Качество поверхностного слоя оказывает существенное влияние на такие эксплуатационные характеристики, как износостойкость трущихся соединений, характер посадок подвижных и неподвижных соединений, усталостная прочность деталей, коррозионная стойкость и др.

Износостойкость. Вследствие наличия на поверхности шероховатости и волнистости, фактическая поверхность контактирующих деталей уменьшается в значительной мере. Например, после чернового точения поверхность контакта составляет лишь 20 % от теоретической; после шлифования – 50 %; после суперфиниша – 80 – 90 %. Уменьшение поверхности контакта приводит к увеличение удельных нагрузок на контактирующих участках, смазка на этих участках продавливается и это приводит к их интенсивному износу при трении. Наибольший износ происходит в начальный момент трения, постепенно интенсивность износа уменьшается. Кривая износа во времени имеет вид, показанный на рис. 7.

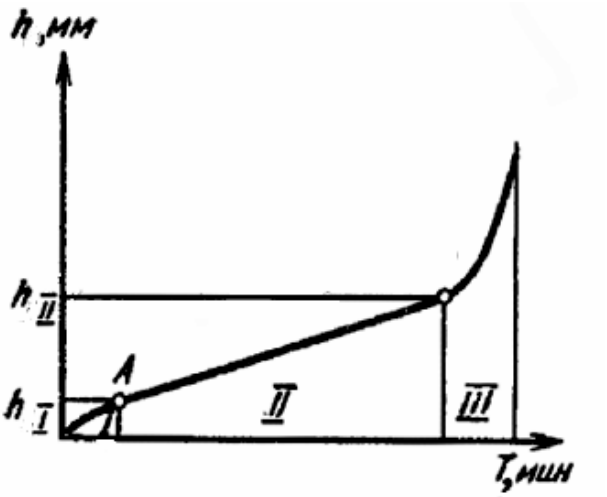


Рис. 7. Кривая износа поверхности во времени

На кривой можно выделить три участка: *I* – приработки, *II* – нормального износа, *III* – катастрофического износа. Шероховатость поверхности оказывает существенное влияние на износостойкость (рис. 8). Из рисунка видно, что существует оптимальное значение шероховатости, при которой износ минимален. С увеличением шероховатости (ветвь *1* – больше оптимального значения) износ возрастает в связи с уменьшением фактической поверхности контакта. При уменьшении шероховатости (ветвь *2* – меньше оптимального значения) износ возрастает в связи с тем, что при малой шероховатости смазка на трущихся поверхностях не удерживается, и возникает мо-

лекулярное схватывание трущихся поверхностей – износ возрастает. На первичный износ кроме высоты шероховатости оказывает влияние форма и направление шероховатости.

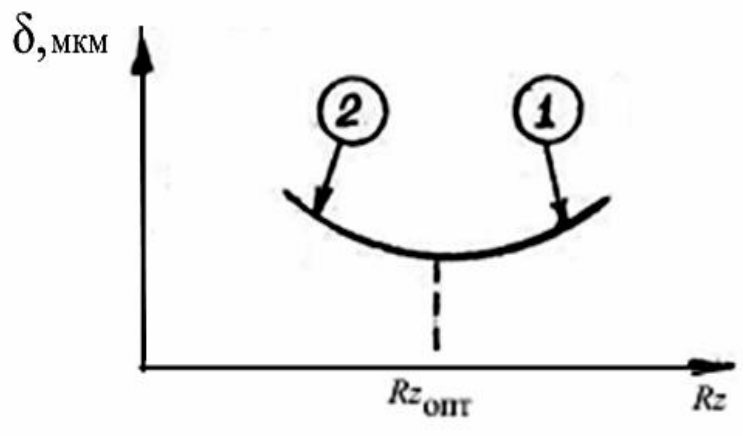


Рис. 8. Зависимость износостойкости поверхности от шероховатости

Влияние шероховатости на износ более заметно при сухом трении. Кроме шероховатости на износ оказывает влияние волнистость и наклеп. Наклеп увеличивает износостойкость.

Характер посадок подвижных и неподвижных соединений. Точность сопряжения, установленная чертежом, определяемая зазором или натягом, в значительной степени зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей.

Установлено, что в период приработки (см. рис. 7) высота шероховатости уменьшается на 50 – 70 % по сравнению с исходной. В связи с этим соединение в дальнейшем работает с другим зазором и вместо переходных посадок могут иметь место посадки с зазором.

Для обеспечения правильной работы соединения необходимо устанавливать шероховатость в зависимости от точности соединения.

Можно подсчитать величину шероховатости (*Rz*) в зависимости от допуска δ. Например, для диаметров более 50 мм, *Rz* = (0,10 … … 0,15) δ.

Прочность сопряжений с натягом во многом зависит от шероховатости поверхности. Установлено, что при запрессовке происходит срезание гребешков шероховатостей, их высота уменьшается на 40 – 50 % и, как следствие, натяг в соединении уменьшается на 15 – 25 %. Сказанное справедливо лишь для холодного прессования.

Усталостная прочность в значительной степени зависит от качества поверхностного слоя, наличия на поверхности детали, работаю-

щей в условиях циклических и знакопеременных нагрузок, отдельных дефектов поверхности. Наличие на поверхности дефектов способствует концентрации напряжений. В местах концентрации напряжений возникают вначале микротрещины, которые постоянно увеличиваются, превращаются в макротрещины, и, наконец, в этих участках происходит разрушение детали. Местами концентрации напряжений могут быть впадины шероховатости. Если принять предел выносливости детали, обработанной притиркой, за 100 %, то после шлифования он равен – 90 %, после чистового точения 50 – 80 %, а после грубого точения – 30 – 60 %.

На усталостную прочность существенное влияние оказывают остаточные напряжения. Наличие в поверхностном слое напряжений сжатия повышает предел выносливости, а наличие остаточных напряжений растяжения снижает его. Усталостная прочность, кроме того, повышается при наличии наклепа на поверхности.

Коррозионная стойкость. Детали с грубо обработанными поверхностями значительно быстрее подвергаются коррозии, так как при большой шероховатости фактическая поверхность контакта детали с коррозирующей средой увеличивается. Вещества, вызывающие коррозию, скапливаются на дне впадин шероховатости. Чем больше глубина впадин и меньше радиус округления, тем интенсивнее воздействие коррозии. Следовательно, с целью увеличения коррозионной стойкости следует уменьшать шероховатость. На коррозионную стойкость оказывает влияние наклеп. Установлено, что наклеп ускоряет коррозию. Это объясняется тем, что при пластической деформации в поверхностном слое возникают микроскопические неоднородности, способствующие образованию очагов коррозии, а эти очаги приводят к снижению усталостной прочности.

Однако, при определенных условиях создания наклепа (накатывание роликами) происходит завальцовывание путей проникновения коррозирующих веществ внутрь металла через дефекты поверхности.

В агрессивных средах при высокой температуре шероховатость и наклеп мало влияют на антикоррозионную стойкость.

Кроме рассмотренных основных эксплуатационных характеристик установлено, что аэро- и гидродинамические свойства поверхности зависят от шероховатости поверхности. От качества поверхности зависит контактная жесткость стыков сопрягаемых деталей. Шероховатость поверхности влияет на условия смазки и др.

Из рассмотренного следует, что качество поверхностного слоя

оказывает решающее влияние на эксплуатационные свойства. Задача технологии машиностроения состоит в том, чтобы научиться управлять качеством поверхностного слоя, т. е. при обработке резанием применять такие методы обработки и режимы резания, при которых будут создаваться требуемые параметры качества поверхностного слоя.

3.2. Факторы, влияющие на качество поверхностного слоя

Качество поверхностного слоя детали, после обработки её резанием, зависит от многих факторов и может существенно изменяться в зависимости от сочетания этих факторов.

Влияние геометрии режущего инструмента (возникновение шероховатости и волнистости)

Углы в плане (φ, φ_1) оказывают наибольшее влияние на шероховатость поверхности. Остальные углы (α и γ) оказывают меньшее влияние на шероховатость.

Влияние геометрии режущего инструмента на процесс обработки рассмотрим на примере точения (рис. 9).

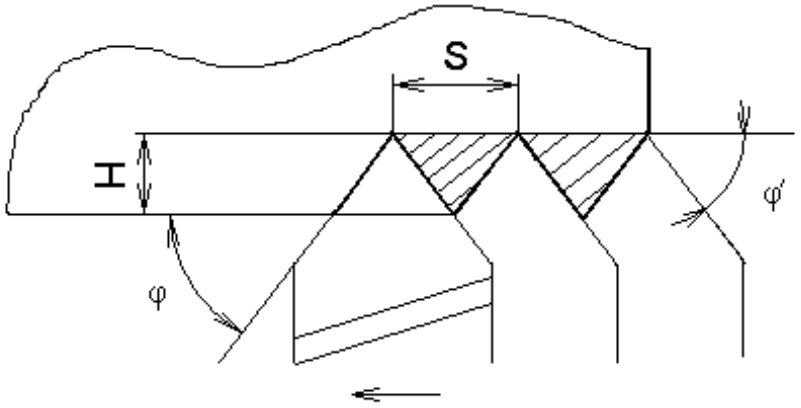


Рис. 9. Влияние геометрии режущего инструмента на шероховатость при точении

Процесс резания осуществляется при наличии двух движений: резания – V и подачи – S .

В результате наличия двух движений на поверхности детали остаются гребешки несрезанного металла высотой H, они и обуславливают появление шероховатости поверхности. Теоретически высоту гребешка шероховатости можно подсчитать по формуле, мм

$$H = \frac{S \cdot \sin\varphi \cdot \sin\varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}.$$

Влияние режима резания

Глубина резания (*t*) существенного влияния на шероховатость не оказывает.

Подача (*S*). Влияние подачи видно из формулы. С увеличением подачи шероховатость возрастает.

Скорость резания (*V*). Влияние скорости резания на шероховатость проявляется через процесс наростообразования. Известно, что в процессе резания на передней поверхности резца, при определенных условиях, возникает нарост. Нарост обладает высокой твердостью и, следовательно, сам является режущей кромкой. Однако нарост имеет бесформенную, сильно развитую поверхность, следовательно, при резании таким инструментом будет получаться грубо обработанная поверхность. Влияние скорости на процесс наростообразования показано на рис. 10.

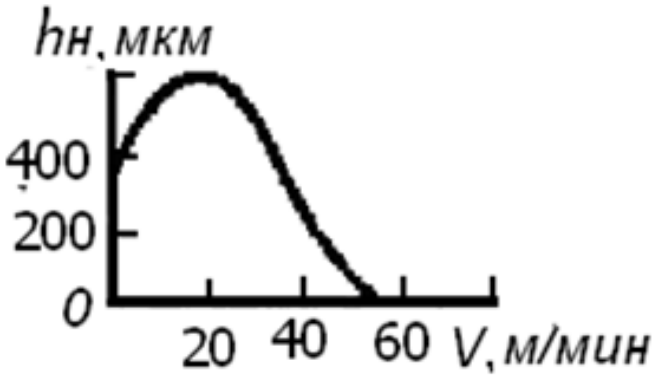


Рис. 10. Влияние скорости резания на шероховатость

Из рис. 10 следует, что для чистовой обработки следует обрабатывать поверхность с малыми скоростями (до 9 – 11 м/мин) или большими. Например, при тонком точении скорость резания будет: V = 1000 м/мин.

Влияние колебаний, возникающих при резании

В процессе резания всегда возникают силы резания. Под действием радиальной составляющей силы резания – P_y – режущая кромка периодически может отжиматься, так как сила резания не остается постоянной, а периодически изменяется. Отжатие режущей кромки приводит к образованию шероховатости или волнистости.

Если имеет место большая амплитуда и малая частота, то возникает волнистость.

Колебания, возникающие при резании, подразделяются на вынужденные и самовозбуждающиеся. Вынужденные колебания возникают от внешних возмущающих сил. Непосредственной причиной может быть, например, непостоянство припуска или неотбалансированность быстро вращающихся частей станка. Самовозбуждающиеся колебания возникают за счет изменения сил резания и сил трения в процессе стружкообразования.

Кроме рассмотренных причин на шероховатость поверхности оказывают влияние и другие факторы: материал обрабатываемой детали, применение смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ), качество заточки режущих инструментов и др.

3.3. Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя

В процессе резания всегда имеют место силы резания и тепловыделение. Под влиянием этих двух факторов может иметь место упрочнение поверхностного слоя или разупрочнение. Упрочнение поверхностного слоя характеризуется образованием наклепа и сжимающих напряжений. Разупрочнение характеризуется снижением твердости и образованием растягивающих остаточных напряжений.

Если в процессе резания имеют место значительные силы резания, то в поверхностном слое возникают пластические деформации, приводящие к образованию наклепа. При высокой температуре наклепа не образуется.

Остаточные напряжения возникают при резании, главным образом, за счет неравномерной пластической деформации по глубине сечения, неравномерного нагревания поверхностного слоя и неодинаковых фазовых и структурных превращений по глубине сечения.

Остаточные напряжения подразделяются на напряжения трех родов. Механиков в большей степени интересуют напряжения первого рода. Это такие напряжения, которые охватывают значительные объемы детали. Напряжения первого рода подразделяются на сжимающие и растягивающие. Первые из них повышают усталостную прочность, вторые – снижают. Следовательно, для повышения усталостной прочности следует строить технологический процесс таким

образом, чтобы в процессе обработки возникали пластические деформации. Однако если пластические деформации будут больше оптимальных значений, то в поверхностном слое возникает перенаклеп. Такой поверхностный слой имеет низкие эксплуатационные свойства.

3.4. Технологическая наследственность

Ранее мы установили, что в процессе резания в поверхностном слое происходят существенные изменения. Поверхность детали, как правило, на протяжении технологического процесса подвергается различным технологическим операциям, например, точению, шлифованию и т. д. При этом каждый метод обработки вносит свои изменения в свойства поверхностного слоя.

Установлено, что окончательные свойства поверхностного слоя создаются не только на последней операции, они формируются на протяжении всего технологического процесса обработки данной поверхности. Изменение свойств изделий в процессе их изготовления и эксплуатации наилучшим образом объясняется явлением технологической наследственности.

Технологической наследственностью можно назвать явление переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим. Сохранение этих свойств у деталей машин называют *технологическим наследованием*. Эти термины являются достаточно емкими и позволяют сравнительно полно связать состояние заготовки (или ее материала) с ее состоянием в любой момент времени, вплоть до превращения заготовки в деталь.

Носителями наследственной информации являются собственно материал детали, а также ее поверхности с многообразием параметров, характеризующих состояние этих поверхностей. Носители информации активно участвуют в ТП, проходя через различные операции, в ходе которых они могут менять свои свойства частично или полностью. Типичной операцией, задерживающей или исключающей передачу наследственных свойств, является термическая обработка.

Суть явления технологической наследственности рассмотрим на примере шлифования трех групп образцов, выполненных из подшипниковой стали. Образцы первой группы были предварительно проточены с большой подачей и имели Ra = 20 мкм. Образцы второй группы были предварительно проточены с достижением Ra = 5 мкм, а третьей группы предварительно прошлифованы с получением Ra = 0,32 мкм. Эти три группы образцов были в одинаковых услови-

ях закалены, а затем прошлифованы с получением Ra = 0,32 мкм. В итоге образцы трех групп получили одинаковые (в пределах допуска) размеры и одинаковую шероховатость. Однако эксплуатация этих образцов-деталей в контакте с другими деталями в одинаковых условиях и через одно и то же время показала совершенно различное состояние поверхностей. На поверхности деталей, входящих в первую группу, образовалось большое количество глубоких раковин, у деталей второй группы этих раковин было значительно меньше, а у деталей третьей группы раковины отсутствовали полностью. Следовательно, при, казалось бы, одинаковых качественных показателях (размеры и шероховатость) служебные свойства деталей оказались различными, так как проявились свойства, полученные до проведения термической обработки.

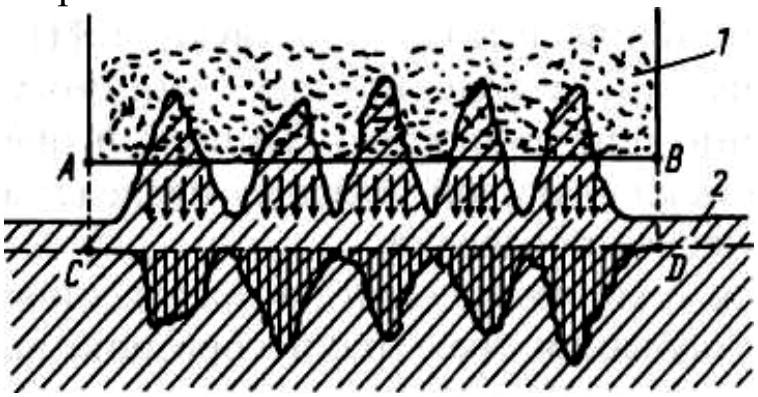


Рис. 11. Схема образования неоднородности поверхностного слоя при шлифовании

Этому явлению должно быть дано разъяснение, так как на его основе возможно управление качеством деталей машин. Шлифовальный круг *1* (см. рис. 11) своей цилиндрической поверхностью *AB* в первую очередь срезает микровыступы заготовки *2*. При этом возникает много локальных очагов теплового воздействия на поверхностный слой заготовки. Стрелками условно показано перемещение теплоты. Своеобразные тепловые удары создают в поверхностном слое зоны, в которых происходят фазовые превращения материала с изменением физико-механических характеристик (зоны условно заштрихованы вертикальными линиями), что объясняет возникновение раковин. В ходе шлифования инструмент займет положение *CD*, однако неравномерность свойств отдельных зон поверхностного слоя останется и будет проявляться у готовой детали тем больше, чем больше было значение шероховатости (*Ra*) у заготовки. Так свойства заготовок наследуются на готовых деталях. Если

установлена наследственная природа свойств деталей, можно принять соответствующие коррективы ТП для предотвращения наследственного переноса вредных свойств и, наоборот, создания благоприятных условий для передачи полезных свойств.

В ходе ТП наследуются практически все свойства материала и поверхностных слоев деталей. Важное значение имеет *технологическое наследование конструктивных форм.* Если, например, производить протягивание силой *P* отверстия у заготовки, показанной на рис. 12, *а,* то обязательно возникнет отклонение отверстия от цилиндричности, поскольку заготовка имеет в сечениях *1 – 1* и *2 – 2* различную жесткость. Сила, действующая со стороны протяжки на заготовку, вызывает в каждом поперечном сечении различные деформации, что приводит к отклонению образующей отверстия от прямолинейности, а поверхности отверстия от цилиндричности (рис. 12, *б*).

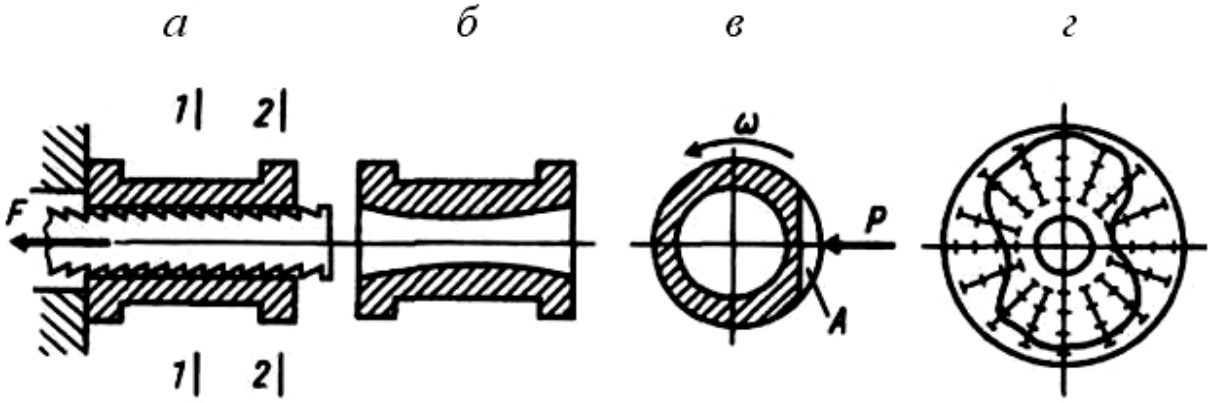


Рис. 12. Технологическое наследование конструктивных форм

Аналогично, под воздействием силы *P* при шлифовании на вращающуюся с определенной скоростью заготовку (рис. 12, *в*), имеющую на некоторой длине конструктивный элемент *А,* на детали возникают характерные отклонения формы. Это объясняется переменной жесткостью детали по углу поворота. Сила *P* возникает в процессе шлифования, точения и т. д. Отклонения формы наружной поверхности в рассмотренном случае всегда будут иметь вид, показанный на рис. 12, *г.* Другие конструктивные элементы обрабатываемой заготовки вызовут другие отклонения формы (отклонения от круглости). Эти отклонения будут зависеть от конфигурации, элементов детали, свойств обрабатываемых материалов, значений силовых факторов. Чаще всего такие отклонения определяют расчетом. Поэтому еще до изготовления деталей можно прогнозировать

отклонения их формы.

Технологическое наследование технологических баз рассмотрим на примере шлифования заготовок, установленных на центрах. Шлифование производится широким кругом. На заготовку действует сила *P* (рис. 13, *а*). Технологическими базами являются конические поверхности *B* центровых отверстий. В связи с особенностями изготовления центровых отверстий на их поверхностях возникает волнистость. Чаще всего наблюдают две, три или пять волн, что условно показано на рис. 13, *б*. При невращающихся центрах и постоянном направлении силы *P* жесткость системы "заготовка – центры" оказывается переменной. Поэтому и упругое перемещение заготовки

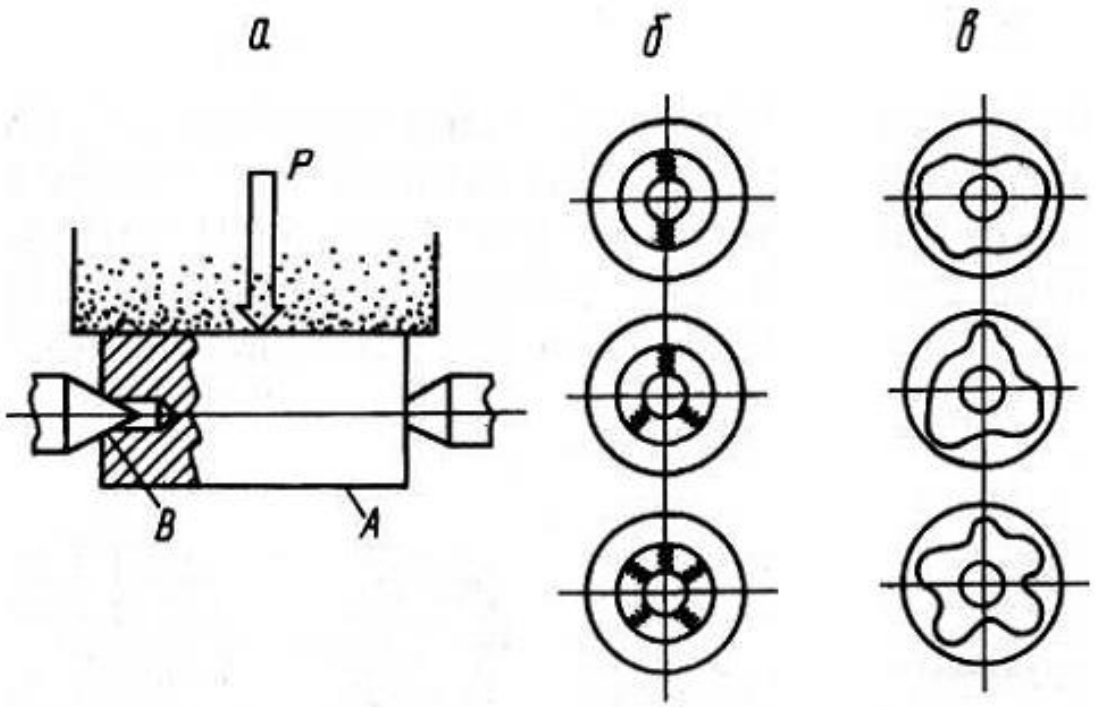
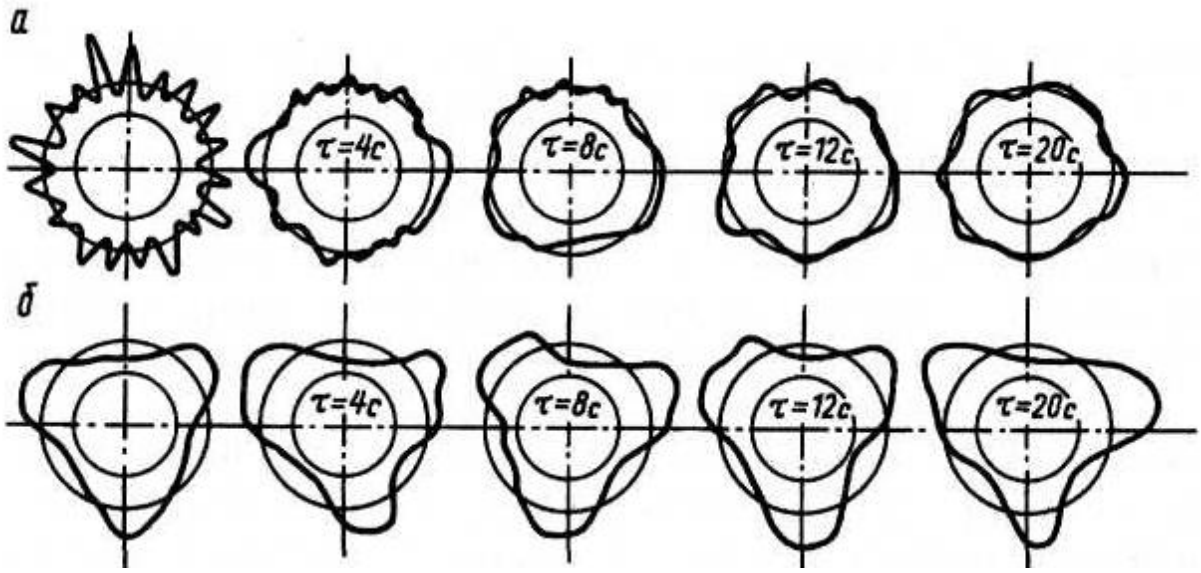


Рис. 13. Технологическое наследование технологических баз

также будет переменным. На обрабатываемой поверхности *A* возникают отклонения формы, показанные на рис. 13, *в*. Число выступов и впадин на поверхности *A* точно соответствует числу волн на технологических базах. Так погрешности технологических баз переносятся (наследуются) на обрабатываемую поверхность. Если производить не врезное, а круглое шлифование или установить на центры заготовку с различным числом волн на центровых отверстиях, процесс наследования окажется более сложным.

Зажимные устройства для закрепления заготовок на металлорежущих станках активно участвуют в ходе технологического насле-

дования. В этом можно убедиться, анализируя круглограммы рис. 14. Отклонение формы растачиваемого отверстия и характер самой погрешности вполне соответствует числу зажимных элементов (кулач-



ков) зажимного патрона. При использовании патронов с двумя кулачками на отверстии возникнет овал, а при использовании четырех кулачков – четыре явно выраженные волны на отверстии детали и т. д.

Рис. 14. Круглограммы, снятые с детали после суперфиниширования

В ходе механической обработки резанием наследуются многие свойства заготовок. Отклонения размеров могут быть учтены при настройке режущих инструментов. Отклонения же формы наследственного характера или погрешности расположения устраняются с

трудом. Часто отклонения от круглости в виде овальности полностью переносятся на готовое изделие. При низкой жесткости системы проявляется частный случай наследования – копирование.

Решение проблемы технологического наследования всегда связано с отысканием таких условий, при соблюдении которых не возникает наследственного переноса вредных свойств от предшествующих операций к последующим. Обратимся для примера к процессу суперфиниширования. После бесцентрового шлифования заготовок на их наружной поверхности возникло 18 выступов (рис. 14, *а,* левая круглограмма). Для удаления такой погрешности формы и достижения заданной шероховатости заготовки подвергали суперфинишированию тремя абразивами. Постоянно отклонение формы

уменьшалось, что можно наблюдать по круглограммам, снятым с заготовок через каждые 4 с. Через 20 с со станка снимают качественные детали. Однако, если заготовки имеют после предварительной обработки три выступа (рис. 14, *б,* левая круглограмма), то при тех же условиях проведения процесса суперфиниширования погрешность формы увеличивается, что можно видеть из анализа круглограмм. Чтобы не возникало ухудшения формы и были ликвидированы наследственные погрешности, полученные на предшествующей операции, необходимо использовать строгие математические зависимости, полученные на основе закономерностей технологического наследования. Такой подход к решению проблемы является общим.

Важно установить не только качественные, но и количественные характеристики технологического наследования. Именно количественные характеристики позволяют определить, насколько велико влияние технологического наследования данного свойства на надежность работы детали в машине. Проще всего для этого использовать коэффициенты k технологического наследования, представляющие собой простые дроби, у которых числитель указывает на количественное выражение величины, отражающей определенное свойство до проведения операции, а знаменатель – количественное ее выражение после проведения операции. Например, значение k_1 – 60/20 = 3 означает, что отклонение от круглости составляло до проведения операции 60 мкм, а после ее проведения – 20 мкм. Если установлен сам факт технологического наследования, можно связывать любые операции и любые свойства ТП. Отнесем значение k_2 к наследованию напряжений в поверхностных слоях. Допустим k_2 = 4,2. Это может означать, что наследственные напряжения у заготовки были в 4,2 выше, чем у готовой детали. Принадлежность коэффициента к определенному свойству оговаривается специальной методикой.

Любое свойство x_i детали может быть определено как $x_i = (1/k)x_{i-1}$, где i – номер технологической операции или технологического перехода.

Весь процесс технологического наследования может быть представлен с помощью системы уравнений, что облегчает анализ и управление явлениями переноса полезных свойств или пресечение передачи вредных свойств.

Вопрос о необходимости учета явления технологического на-

следования решают в каждом конкретном случае отдельно. Если значение наследуемого свойства мало и его влияние на характеристики детали или машины оказывается весьма слабым, то явление технологического наследования рассматривать не следует. В другом случае, наоборот, это влияние становится сильным, наследуемое свойство оказывает решающее действие на показатели качества. Тогда оно должно быть учтено на основе анализа всего технологического процесса от получения материала до готовой машины и даже процесса ее эксплуатации.

3.5. Методы оценки качества поверхностного слоя

Шероховатость поверхности. Для оценки шероховатости используются два метода: качественный и количественный.

Качественный метод основан на сравнении поверхности с образцом или эталоном. Сравнение может осуществляться визуально – путем ощупывания рукой или с помощью микроскопов сравнения (МС-49).

Количественный метод основан на измерении высоты гребешков шероховатости. Измерение осуществляется либо с помощью оптических приборов, либо путем ощупывания поверхности алмазной иглой. Измерение шероховатости путем ощупывания осуществляется на приборах профилометрах (например TR-100) и профилографах. Первые показывают значение шероховатости (*Ra*), вторые дают запись шероховатости поверхности в виде профилограммы.

Существует приборы профилометры-профилографы. Каждый из приборов имеет свою область применения (диапазон измеряемой шероховатости).

Наклеп поверхностного слоя оценивается по изменению микротвердости. Микротвердость определяется на приборах ПМТ-3.

Остаточные напряжения определяются либо методом рентгеноструктурного анализа, либо механическими методами, основанными на методике акад. Давиденкова Н. Н.

Структура поверхностного слоя определяется на металлографических микроскопах.

4. БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ

Для правильной работы машины необходимо обеспечить определенное взаимное расположение ее деталей и узлов.

При обработке заготовки должны быть правильно ориентированы относительно станка и режущего инструмента. Задача взаимного ориентирования решается базированием. Под базированием понимается придание заготовке требуемого положения относительно выбранной системы координат (придание заготовке определенного положений относительно элементов станка).

У заготовки различают обрабатываемые поверхности, поверхности, которые ориентируют заготовку при обработке, поверхности, от которых производят измерения и др.

Базирование следует учитывать как при разработке конструкции (проектировании), так и при обработке и сборке.

В связи с этим *базы подразделяют на конструкторские, сборочные и технологические.*

Конструкторские базы – поверхности, линии, оси, определяющие положение детали относительно других деталей на чертеже. Конструкторские базы, как правило, получаются в результате расчета размерных цепей. От конструкторских баз на чертежах, обычно, проставляют размеры.

Сборочные базы – поверхности, определяющие положение детали относительно других при сборке.

Технологические базы. Технологические базы подразделяется на установочные и измерительные.

Установочные базы – поверхности, служащие для установки детали на станке при обработке.

Измерительные базы – поверхности, от которых производится отсчет размеров при измерении.

Установочные базы подразделяется на черновые, чистовые и промежуточные.

4.1. Основные принципы выбора баз

Схема простановки размеров на чертеже уже предопределяет собой выбор баз и последовательность обработки, а иногда и возможность обработки детали.

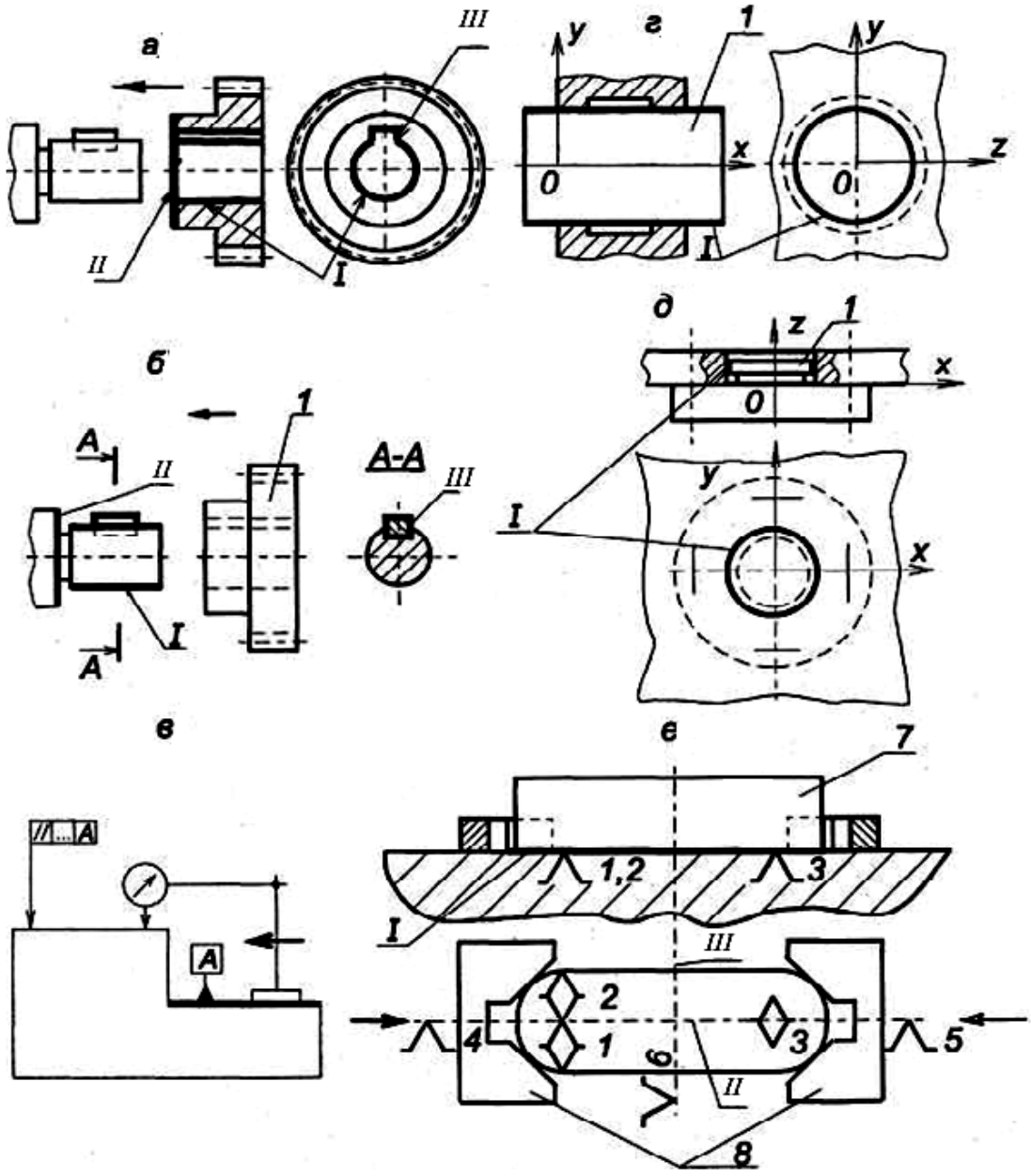


Рис. 15. Виды баз:
а – основные базы шестерни (*I, II, III*); *б* – вспомогательные базы вала *(I, II, III)* с присоединяемой деталью (*1*); *в* – измерительная база (А); *г* – двойная направляющая база (*I*) детали (1); *д* – двойная опорная база (*I*) детали (*1*); *е* – установочная явная база (*I*) заготовки (*7*), направляющая скрытая база (*II*), опорная скрытая база (*III*), *1 ... 6* – опорные точки; *8* – губки самоцентрирующих тисков

Выбор технологических баз – ответственный этап разработки

технологического процесса. Неправильный выбор баз приводит к усложнению конструкции приспособлений, появлению брака и др.

Как правило, обработку детали начинают с той поверхности, которая будет служить установочной базой. При выборе установочной базы следует руководствоваться двумя главными принципами базирования: принципом постоянства баз и принципом совмещения баз.

Принцип постоянства состоит в том, что для выполнения всех операций обработки (или основных) используется одна и та же поверхность детали в качестве установочной базы. При смене баз точность обработки снижается.

Необходимость смены баз вызывается невозможностью обработки всех поверхностей с одной установки или использованием нескольких различных станков.

Принцип совмещения баз состоит в том, что в качестве технологических баз желательно использовать конструкторские базы – что не всегда возможно. Для повышения точности обработки следует стремиться к совмещению установочной и измерительной баз. Несовмещение этих баз влечет за собой появление погрешности базирования. Рассмотрим это на примере обработки поверхности *1* детали, изображенной на рис. 16.

Обрабатывается поверхность *1*. Обработка ведется на горизонтально-фрезерном станке дисковой трехсторонней фрезой. При обработке деталь устанавливается на поверхность *2*. Обрабатывается партия деталей в десять штук. Станок настраивается на обработку этой партии.

Возможность получения размера $20^{+0,1}$ в допуске зависит от погрешности исполнения размера $40_{-0,5}$.

Рассмотрим размерную цепь. Найдем замыкающее звено данной цепи. Замыкающим звеном является звено A_2 (см.рис. 16).

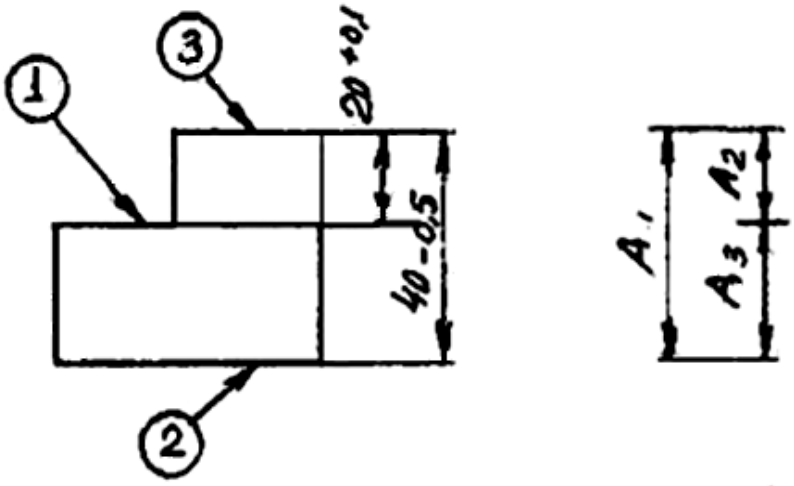


Рис. 16. Размерная цепь

Основное правило размерной цепи говорит, что допуск замыкающего звена равен алгебраической сумме допусков составляющих звеньев: $\delta A_2 = \delta A_1 + \delta A_2$.

Подставив в это выражение значения допусков из рис. 16, получим: $0{,}1 = 0{,}5 + \ldots$

Допуск звена A_3 нам не известен, он зависит от многих факторов. Например, точности наладки, погрешности установок и др. Однако уже видно, что равенство нарушается. Следовательно, обработка при данной настройке и при несовмещении баз приводит к появлению погрешности при обработке.

4.2. Правило шести точек при базировании

Известно, что каждое твердое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы. Правило шести точек гласит: для того, чтобы лишить тело всех степеней свободы, т. е. придать ему определенное положение относительно режущего инструмента, необходимо и достаточно иметь шесть опорных точек. При этом каждая опорная точка лишает тело одной степени свободы. Применять более шести опорных точек, нецелесообразно, так как в этом случае создается неопределенное положение детали из-за отсутствия контакта детали со всеми опорами. Иногда при таком базировании установка детали в приспособлении невозможна. В некоторых случаях нет необходимости лишать тело всех шести степеней свободы.

Схема базирования, т. е. характер расположения опорных точек, зависит от формы поверхности обрабатываемой детали. Наиболее распространенными схемами базирования являются: базирование призматических тел и тел вращения.

Схема базирования призматического тела приведена на рис. 17.

Точки *1*, *2* и *3*, находящиеся в плоскости *XOY*, лишают тело трех степеней свободы. Точки *4* и *5*, находящиеся в плоскости *Y0Z* лишают тело двух степеней свободы. Точка 6 лишает тело одной степени свободы.

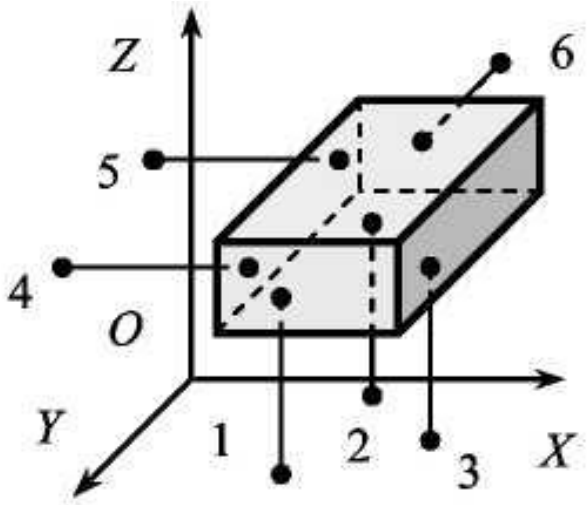


Рис. 17. Схема базирования призматического тела

5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Эксплуатационная надежность машин в значительной степени зависит от точности изготовления отдельных деталей и сборки. Повышение точности изготовления деталей приводит к увеличению долговечности и надежности машин. Этим и объясняется непрерывное ужесточение требований к точности изготовления деталей. Но изготовить детали абсолютно точно невозможно, так как при их обработке всегда возникают погрешности.

Под точностью реальной детали понимается степень соответствия ее чертежу. Точность детали характеризуется точностью размеров, формы и взаимного расположения поверхностей.

Заданную точность обработки можно достигнуть двумя различ-

ными методами: методом пробных ходов и промеров и методом автоматического получения размеров на настроенных станках.

При методе пробных ходов и промеров заготовки на станок устанавливаются с выверкой. Необходимая точность достигается путем последовательного снятия стружек пробными ходами, каждый ход сопровождается измерениями. После каждого измерения вносят поправку (по лимбу станка) в положение инструмента относительно детали.

При методе автоматического получения размеров заготовки без выверки устанавливаются на станке в приспособлении на заранее выбранные базовые поверхности. Обработка ведется, как правило, за один рабочий ход.

Однако какой бы метод достижения точности не применялся, при обработке резанием всегда появляются погрешности.

5.1.Факторы, влияющие на точность обработки

Причин появления погрешностей много. Все причины можно разбить на две группы. В первой группе погрешности не зависят от нагрузки, возникающей при резании. Во второй группе погрешности зависят от нагрузки, возникающей при резании.

Погрешности, возникающие в результате различных причин, подразделяются на систематические и случайные.

Погрешности, не зависящие от нагрузки, вызываются:

1. Недостаточной точностью станков, приспособлений режущих инструментов и их износом.
2. Погрешностями измерения деталей.
3. Погрешностями, выбранной теоретической схемы обработки.
4. Погрешностями базирования.
5. Погрешностями настройки станка.

Погрешности, зависящие от нагрузки, вызываются:

1. Деформациями упругой системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД).
2. Размерным износом инструмента.
3. Тепловыми деформациями системы СПИД.
4. Деформациями детали, возникающими в результате перераспределения внутренних напряжений.

Деформации упругой системы СПИД. Технологическая система СПИД представляет собой упругую систему, деформации которой обуславливают появление погрешностей при обработке. Величина деформации тем больше, чем больше силы резания и чем меньше жесткость системы СПИД.

Под жесткостью системы СПИД понимается способность системы оказывать сопротивление действию внешних сил, стремящихся её деформировать. Жесткость системы определяется отношением радиальной составляющей силы резания – P_y к смещению режущей кромки инструмента в направлении действия этой силы (рис. 18)

$$j = \frac{P_y}{y}.$$

Сила резания (P_y) вызывает упругие деформации в системе СПИД, а также смещение отдельных элементов системы за счет наличия зазоров.

Колебание глубины резания, непостоянство твердости обрабатываемого материала, затупление инструмента приводят к колебанию силы резания, а следовательно, к появлению различных по величине отжатий режущей кромки инструмента. Непостоянство отжатий режущей кромки приводит к колебанию размеров, т. е. появлению погрешности обработки – погрешности размера или погрешности формы детали.

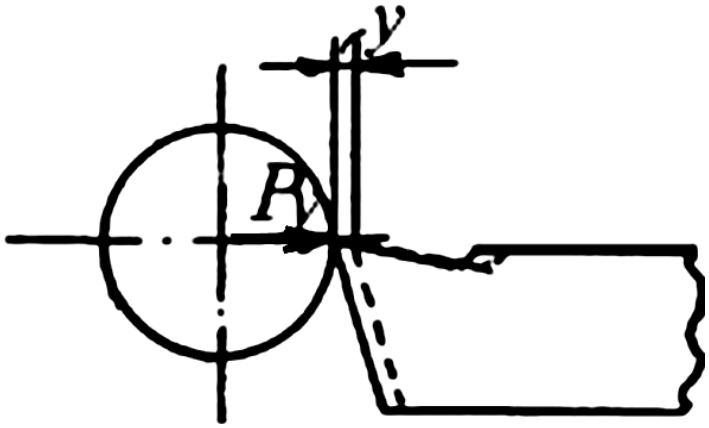


Рис. 18. Схема смещения режущей кромки инструмента в направлении действия радиальной силы P_y

Размерный износ инструмента. Любой инструмент в процессе резания изнашивается. Износ инструмента приводит к изменению размера. Размерный износ следует учитывать при обработке партии деталей на настроенных станках, либо при обработке протяженных

деталей. Из параметров режима резания на износ наибольшее влияние оказывает скорость резания.

Тепловые деформации системы СПИД. Причинами возникновения тепловых деформаций являются: теплота, образующаяся в зоне резания, теплота, образующаяся при трении подвижных частей станка, теплота от внешних источников. Значительное количество тепла, выделившегося в зоне резания, передается стружке (до 70 %). Остальная часть тепла передается инструменту и детали. Нагревание их приводит к изменению размеров детали и инструмента и появлению погрешности при обработке.

Теплота, выделившаяся при трении подвижных частей, приводит к неравномерному нагреванию отдельных частей станка. Например, разность температур на стенках передней бабки доходит до 50 ^{0}С, а это приводит к смещению оси шпинделя станка и, как следствие, к появлению погрешности обработки.

Влияние тепловых деформаций следует учитывать при точности обработки 7 – 9 квалитетов и более высокой точности.

Деформации детали в результате перераспределения внутренних напряжений. Остаточные напряжения возникают в заготовках, полученных литьем, ковкой, сваркой и при обработке резанием. Наибольшие напряжения появляются в деталях сложной формы. Остаточные напряжения возникают вследствие неравномерного остывания отдельных поверхностей заготовки. При обработке резанием после снятия стружки в заготовках происходит перераспределение напряжений, а это приводит к деформации детали, т. е. появлению погрешности обработки.

5.2. Определение погрешностей обработки

В предыдущем разделе мы установили, какие факторы приводят к появлению погрешности при обработке. Одни из них действуют постоянно при обработке всей партии деталей. К ним относятся, например, недостаточная точность станка, приспособления и др. Другие приводят к появлению закономерно изменяющейся погрешности, например, износ режущего инструмента, тепловые деформации системы СПИД. Третьи имеют случайный характер, например, непостоянство силы P_y, погрешность закрепления и др.

В результате возникновения случайных погрешностей действительные размеры деталей могут принимать любые значения в грани-

цах определенного материала.

Ожидаемая точность обработки может быть определена *статистическим или расчетно-аналитическим методом.*

Статистический метод основан на использовании законов теории вероятности и математической статистики. Этот метод применяется при обработке большого количества деталей (не менее 50 шт.) способом автоматического получения размеров на настроенных станках. В результате возникновения случайных погрешностей происходит рассеивание размеров. Характер рассеивания размеров наиболее наглядно выявляется путем построения кривых распределения размеров и точечных диаграмм. Построение кривых производится на основании обмера партии деталей.

Рассеивание действительных размеров подчиняется различным математическим законам. В технологии машиностроения наибольшее применение имеют законы нормального распределения размеров (закон Гаусса), равной вероятности и др., а также имеет место сочетание различных законов.

Закону нормального распределения размеров подчиняются погрешности размеров, погрешности массы деталей, погрешности твердости и погрешности шероховатости.

Закон имеет место тогда, когда исследуемая величина зависит от воздействия большого количества различных факторов, причем интенсивность воздействия их примерно одинакова.

Кривая, характеризующая закон нормального распределения, представляет собой кривую Гаусса (рис. 19).

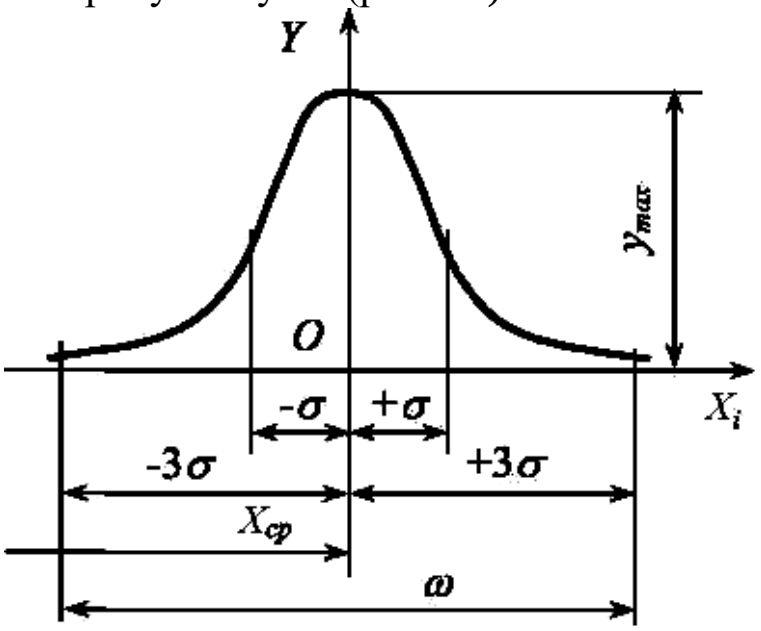


Рис. 19. Кривая нормального распределения размеров

Характеристиками кривой являются мера положения и мера рассеивания. Мера положения характеризует положение центра группирования размеров. В качестве меры положения применяется среднее арифметическое значение

$$\overline{X} = \frac{\sum_{1}^{n} x_i}{n}.$$

Мера рассеивания является числовой характеристикой рассеивания. В качестве меры рассеивания применяется среднее квадратическое отклонение – σ.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (x_i - \overline{x}) m_i}{n}}.$$

В формулах x_i – текущее измерение, n – количество измерений, m_i – количество деталей в каждой группе.

Закон равной вероятности имеет место тогда, когда рассеивание размеров зависит от одного доминирующего фактора. Например, этому закону подчиняется изменение размеров в случае влияния на точности размерного износа инструмента. Износ инструмента (при установившемся износе) подчиняется закону прямой линии (рис. 20, *а*) – это приводит к увеличению размера вала. Изменение размеров обрабатываемых деталей происходит по закону прямой линии (рис. 20, *б*).

а *б*

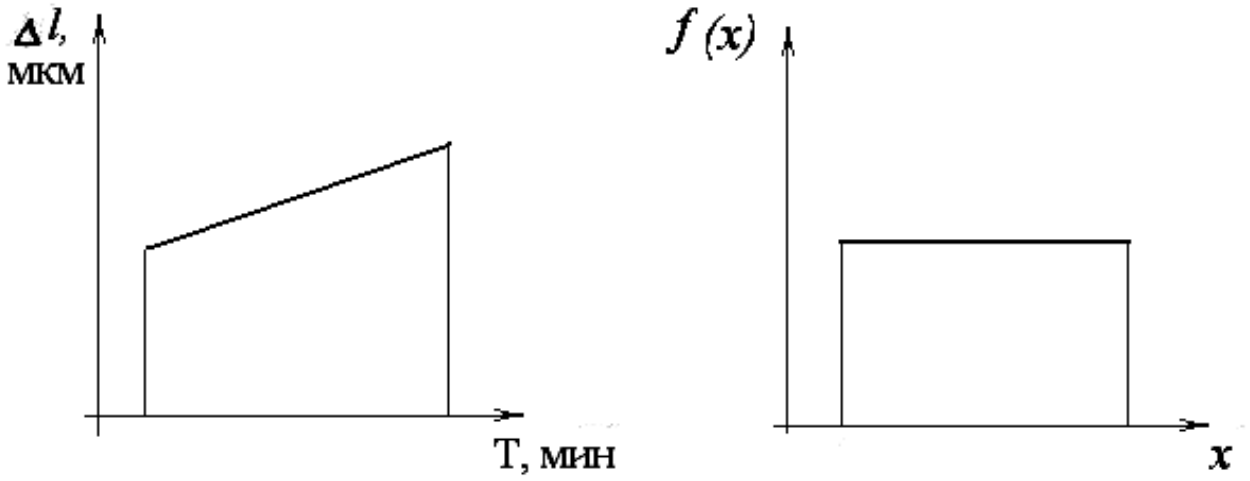


Рис. 20. Закон равной вероятности:

а – износ инструмента; *б* – изменение размеров обрабатываемых деталей

Закон равной вероятности имеет место для случая распределения размеров деталей, обработанных по 5–6 квалитетам, и при обработке деталей методом пробных ходов и промеров.

Определение точности обработки сводится к сопоставлению фактического рассеивания размеров с допуском на размер. Пользуясь кривой распределения размеров, можно найти вероятное количество годных деталей (рис. 21). При практическом использовании кривых нормального распределения размеров принимают поле рассеивания, равное ± 3σ . Если допуск на изготовление деталей δ равен ± 3σ, годными будут получаться 99,73 % обработанных деталей. Если допуски меньше ± 3σ – возможен брак деталей.

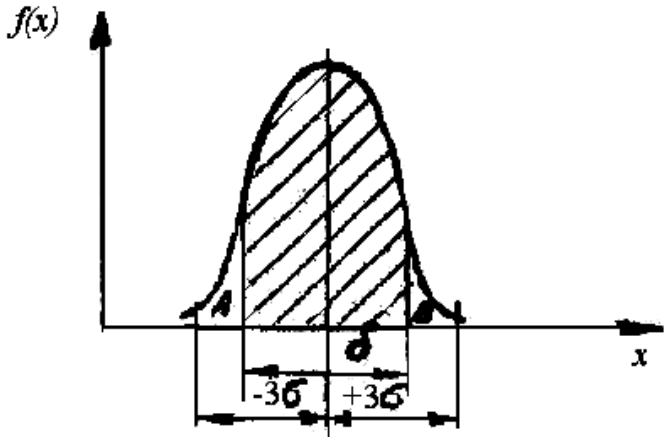


Рис. 21. Кривая фактического рассеивания размеров

Количество забракованных деталей выражается графически отношением площади *f* (заштрихованного участка) к площади *F* (всей кривой рассеяния). В математической статистике имеются формулы, по которым, зная δ, σ, и $\bar{x}$, можно подсчитать процент брака.

На практике могут получаться различные кривые фактического рассеивания размеров (рис. 22).

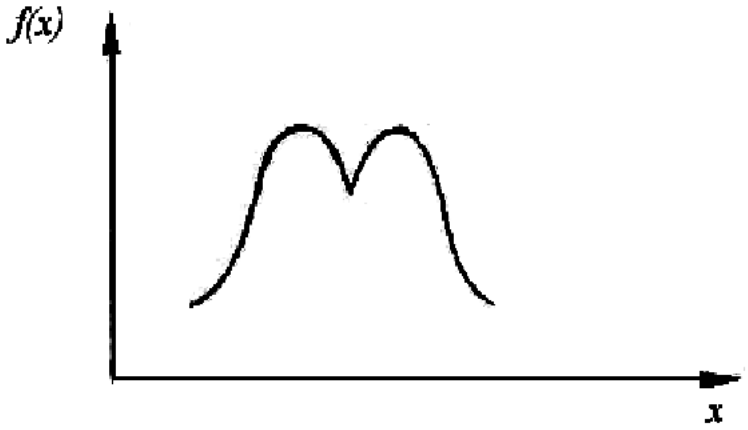


Рис. 22. Форма кривой фактического рассеивания размеров

Используя кривые распределения можно подсчитать процент брака, т. е. установить пригодность процесса. Но с помощью кривых невозможно установить момент появления брака и своевременно вмешаться в процесс с целью его корректирования. С целью компенсации этого недостатка используют точечные диаграммы.

Для построения точечных диаграмм по оси абсцисс откладывают меру обрабатываемых деталей. По оси ординат – размеры деталей (рис. 23).

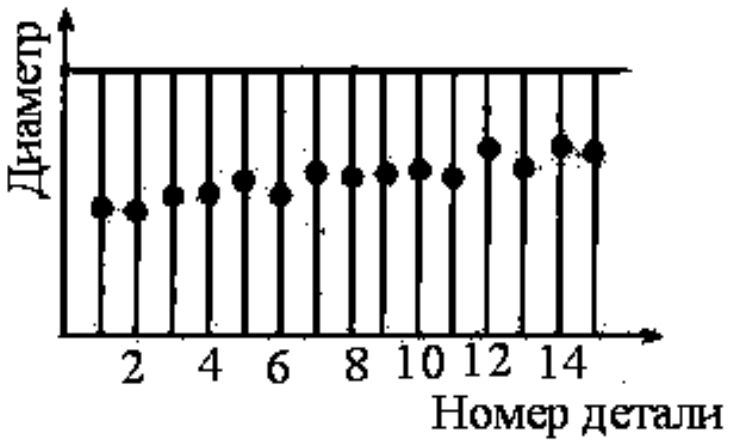


Рис. 23. Точечная диаграмма

При большом количестве деталей для уменьшения длины диаграммы детали разбиваются на группы. В группу включается по несколько деталей, обработанных последовательно друг за другом.

На диаграмме проводят две линии *А* и *Б*, соответствующие нижнему и верхнему предельным отклонениям, таким образом они ограничивают поле допуска – δ. На диаграмме отмечают размеры каждой детали. Если по диаграмме видно, что размеры деталей подходят

близко к линии предельного отклонения, то следует прекратить обработку и осуществить подналадку станка.

Расчетно-аналитический метод. В основе метода исследования точности лежит анализ отдельных причин, приводящих к возникновению погрешности обработки, а затем суммирование отдельных погрешностей. Метод этот очень трудоемкий, применяется значительно реже, чем статистический.

6. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

6.1. Определение и основные понятия

Необходимая точность и качество поверхностного слоя достигается путем последовательного удаления слоя металла с заготовки в процессе обработки резанием. Слой металла, который удаляется с заготовки в процессе резания, называется **припуском**.

Величина припуска зависит от вида применяемой заготовки.

В машиностроении применяют следующие виды заготовок:

1. Отливки из чугуна, стали, цветных металлов и пластмасс.
2. Поковки и штамповки.
3. Прокат горячекатаный и холоднокатаный.

Выбор вида заготовки зависит от конструктивных форм детали, их назначения, условий работы и др.

Для каждого вида заготовок характерен свой средний отход металла в стружку, так для отливок и проката это до 15 %, поковок до 40 %, штамповок до 10 %.

Правильное решение о выборе вида заготовки можно сделать на основании технико-экономических расчетов. Увеличенные припуски повышают себестоимость обработки, недостаточные припуски также приводят к увеличению себестоимости. В связи с этим различают *оптимальные припуски*. Под оптимальным припуском понимается та-

кой припуск, который обеспечивает необходимую точность и качество поверхности при минимальной себестоимости.

Припуски подразделяют на *общие и межоперационные*. Под межоперационным припуском понимается слой металла, удаляемый с поверхности при выполнении конкретной операции. Под общим понимается слой металла, удаляемый с поверхности на протяжении всего технологического процесса обработки данной поверхности.

Задаются припуски в миллиметрах и измеряются в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности.

По характеру расположения припуски подразделяют на *симметричные, асимметричные и односторонние*.

Величина припуска в данной операции зависит от точности изготовления заготовки на предшествующей операции (рис. 24).

На рис. 24 $A_{i\max}$ и $A_{i\min}$ – максимальный и минимальный размеры на i-ой операции, и, соответственно, T_i – допуск на размер на i-ой

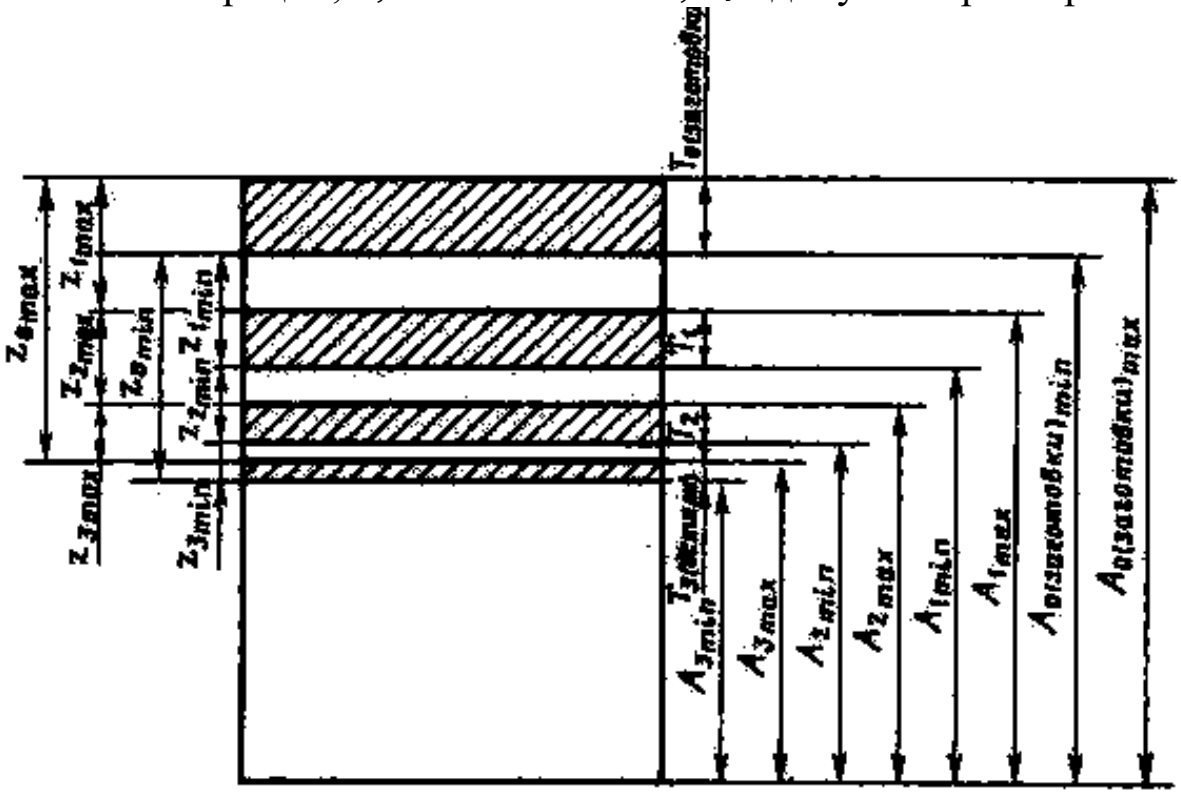


Рис. 24. Исходная схема для расчета общего припуска и промежуточных размеров

операции, $Z_{\max}$ и $Z_{\min}$ – максимальный и минимальный припуски на i-ой операции.

В случае обработки на настроенных станках

$$Z_{1\max} = A_{1\max} - A_{2\max}; \qquad Z_{1\mathrm{mix}} = A_{1\mathrm{mix}} - A_{2\mathrm{mix}}.$$

Из схемы видно, что величина припуска на данной операции зависит от точности выполнения предшествующей операции. Поэтому различают минимальные и максимальные припуски. При расчете припуска обычно определяют Z_{min} .

6.2. Факторы, влияющие на величину припуска

Величина припуска на обработку зависит от многих факторов. К основным факторам надо отнести: материал заготовки; формы и размеры заготовок; вид заготовки и способ ее изготовления; точность и качество обрабатываемых поверхностей; технические условия на изготовление детали.

Материал заготовок. Почти при всех способах получения заготовок на их поверхностях образуется дефектный слой в виде твердой корки, окалины, трещин, пузырей и т. д. При одном и том же способе получения заготовок величина дефектного слоя будет зависеть от материала заготовок.

Для литых заготовок из чугуна толщина твердой корки бывает от 1 до 2 мм, а из стали – от 1 до 3 мм. Толщина обезуглероженного слоя у штамповок из легированной стали до 0,5 мм, а из углеродистых – 0,5 – 1,0 мм.

Чтобы обеспечить нормальную обрабатываемость заготовок, необходимо, чтобы глубина резания была больше величины дефектного слоя.

Следовательно, величина дефектного слоя должна быть частью припуска.

Формы и размеры заготовок тоже оказывают влияние на величину припуска. Чем сложнее форма, тем больше должна быть величина припуска.

При свободной ковке увеличивают припуск для упрощения формы заготовки; при штамповке – для улучшения течения металла; при литье делают плавные переходы от тонких стенок к толстым для равномерного остывания металла и т. д.

Вид заготовок и способы их изготовления. Литые заготовки могут быть получены различной точности. Самые неточные литые заготовки бывают при ручной формовке, а самые точные – отлитые в оболочковых и металлических формах, а также литье под давлением и по выплавляемым моделям. Очевидно, у литья, полученного при

ручной формовке, величина припуска будет больше, чем у заготовок, отлитых по выплавляемым моделям. В отливках сложной формы необходимо делать плавные переходы от толстых к тонким стенкам. Это требует увеличения припусков на тонких стенках.

Кроме того, при изготовлении крупных отливок следует считаться с наличием усадочной раковины.

Точность штампованных заготовок гораздо выше точности поковок, поэтому припуски у поковок гораздо больше, чем у штампованных заготовок. У штампованных заготовок имеется обезуглероженный слой, при обработке его необходимо удалить.

Для поковок характерно наличие на их поверхности слоя окалины – припуск должен быть больше этого слоя.

Для заготовок, получаемых методом свободной ковки, получить сложную форму затруднительно. Поэтому ради упрощения формы заготовки увеличивают припуски на обработку.

Точность и качество обработанных поверхностей также оказывают влияние на величину припуска. Например, для обработки заготовки из горячекатаного проката по наружной поверхности с точностью 15 квалитета (5-го класса) достаточно одной операции, а для обработки этой же заготовки с точностью 8 квалитета (2-го класса) необходимы 4 операции. Для каждой промежуточной операции механической обработки необходимо оставлять припуск. Таким образом, общий припуск зависит и от количества операций, и от способов механической обработки, требуемой шероховатости поверхности.

Если деталь в процессе механической обработки подвергается термической обработке, то на величину припуска окажет влияние деформация детали. Припуск на механическую обработку увеличится.

Технические условия на изготовление детали. Чем выше требование к точности и качеству обработки поверхностей, тем больше, как правило, величина припуска. Если из одной и той же заготовки деталь изготавливают с *Ra* 50 ... 25 мкм и *Ra* 1,6 мкм, то величина припуска будет больше при обработке с более гладкой чистой поверхностью – *Ra* 1,6 мкм. От требований механической обработки зависит применяемый метод обработки. Для каждого метода обработки характерен свой диапазон величин припусков.

В ряде случаев увеличивают припуск у тел вращения для установки деталей в центрах, для изготовления центровых отверстий иногда нужно увеличивать длину для того, чтобы зажать деталь в патроне станка.

Из требований чертежа следует учитывать требования точности и шероховатости. Кроме того, следует учитывать наличие термической обработки и сварки.

6.3. Методы расчета припуска

Существуют два метода расчета припусков: *расчетно-аналитический и опытно-статистический.*

Расчетно-аналитический метод разработан проф. В. М. Кованом. В основу расчетных формул положено то, что величина припуска должна обеспечить удаление с поверхности всех дефектов поверхностного слоя, устранение погрешностей предшествующей обработки. Кроме того, величина припуска должна обеспечить устранение погрешностей базирования и установки, возможные при выполнении данной операции.

Расчет припуска ведется по $Z_{\min}$, который определяется по формулам.

Симметричный припуск на диаметр для наружных и внутренних поверхностей тел вращения рассчитывается по формуле

$$2Z_{\min} = 2(Rz_a + T_a + \sqrt{\rho_a^2 + \varepsilon_b^2}).$$

Асимметричный припуск на одну из плоских поверхностей определяется по формуле

$$Z_{\min} = Rz_a + T_a + \rho_a + \varepsilon_b,$$

где $Z_{\min}$ – минимальный припуск на выполняемый переход;

Rz_a – высота шероховатостей, полученная на предшествующем переходе;

T_a – толщина дефектного слоя, полученного на предшествующем переходе;

ρ_a – суммарное значение пространственных отклонений, полученное на предшествующей операции;

ε_a – погрешность установки – возможная при выполнении данной операции. При этом погрешность установки определяет как векторную сумму погрешности базирования и погрешности закрепления.

В некоторых случаях при расчете припуска отдельные составляющие исключаются из расчета. Например, при обработке отверстий с плавающим креплением развертки величина ρ_a исключается из расчета.

В некоторых случаях из формулы исключают величину T_a. Например, при обработке заготовок из чугуна эта величина учитывается только для заготовки, т. е. только для черновой операции.

Опытно-статистический метод. При этом методе устанавливают припуск, общий на весь технологический процесс. Припуск назначается по справочнику. При этом назначается без учета конкретных особенностей выполняемой операции.

Припуск устанавливают в следующей последовательности.

1. Определяют общий припуск исходя из вида заготовки и ее габаритов.
2. Назначают припуски на все операции, кроме первой.
3. Определяют припуск на первую операцию как разность общего припуска и суммы припусков по операциям, кроме первой.

7. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Под техническим нормированием понимается установление нормы времени для выполнения определенной работы.

Нормой времени называют регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норму времени определяют на основании технического расчета, исходя из условий наиболее полного использования возможностей металлорежущих станков и инструментов при соблюдении требований к точности обработки и качеству поверхностного слоя обработанной детали. Норма времени устанавливается на каждую технологическую операцию.

Правильное нормирование имеет большое значение для производства. Норма времени является одним из основных критериев оценки технологических процессов. Она служит основой как для составления калькуляции себестоимости изготовления детали, так и основой для оплаты труда, а также является основой для расчета длительности производственного цикла, необходимого количества рабочих, станков, инструментов и др.

По мере совершенствования технологического процесса – применение новой конструкции приспособления, нового режущего инструмента или изменения режима резания – норма времени должна пересматриваться и уточняться.

7.1. Состав нормы времени

Норма времени при обработке на металлорежущих станках определяется по формуле

$$T_{\text{шт.}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{об.}} + T_{\text{пер.}},$$

где $T_{\text{о}}$ – основное технологическое время; основное время – это время, в течение которого непосредственно происходит изменение формы, размеров и шероховатости; в основное время включается время, затрачиваемое на врезание и перебег инструмента, время на обратные холостые ходы;

$T_{\text{в}}$ – вспомогательное время; это время, без которого выполнение основной работы невозможно; во вспомогательное время включается время, затрачиваемое на управление станком, установку детали и т. п.; сумма основного и вспомогательного времени называется оперативным временем: $T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}}$;

$T_{\text{об.}}$– время обслуживания рабочего места; это время подразделяется на время технического и организационного обслуживания рабочего места: $T_{\text{об.}} = T_{\text{т.о.}} + T_{\text{ о.}}$;

$T_{\text{т.о.}}$ – время технического обслуживания рабочего места включает в себя время на подналадку и регулировку станка, на смену затупившегося инструмента, на поправку инструмента и удаление стружки;

$T_{\text{о.о.}}$ – время организационного обслуживания; включает в себя на раскладку инструмента, на чистку и смазку станка, время на осмотр и опробование станка;

$T_{\text{пер.}}$ – время перерывов на отдых и физические потребности.

Для обработки партии деталей вводится понятие «штучно-калькуляционное время»: $T_{\text{шт.-к.}} = T_{\text{шт.}} + \dfrac{T_{\text{п.з.}}}{n}$.

$T_{\text{п. з}}$ – подготовительно-заготовительное время; это время, затрачиваемое на ознакомление с работой, чертежом, технологией, на наладку станка и приспособления;

n – количество деталей в партии.

7.2. Методы определения нормы времени

Применяется два метода определения нормы времени: *суммар-*

ный и аналитически-расчетный.

При суммарном методе норма времени дается на операцию без расчленения её на составные части. В этом случае норма времени задается по аналогии, такая норма не является прогрессивной.

При аналитическом методе операция расчленяется на составные части и нормирование осуществляется на основании разработанного технологического процесса.

Подсчет элементов времени осуществляется в следующей последовательности:

1. Подсчитывается основное время на каждый переход, а затем суммируется по всей операции.

2. Определяется вспомогательное время на каждый переход, а затем суммируется по всей операции.

3. Определяется время обслуживания рабочего места и перерывов на операцию.

4. Определяется подготовительно-заключительное время на партию.

Основное время. Для случая точения основное время определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} i \quad ,$$

где L – расчетная длина обработки;

n – число оборотов в мин;

S – подача в мм/об;

i – количество ходов.

Расчетная длина обработки складывается из длины обрабатываемой поверхности, длины врезания и перебега инструмента (рис. 25). Если при обработке нужно брать пробную стружку, то еще добавляется длина для взятия пробных стружек.

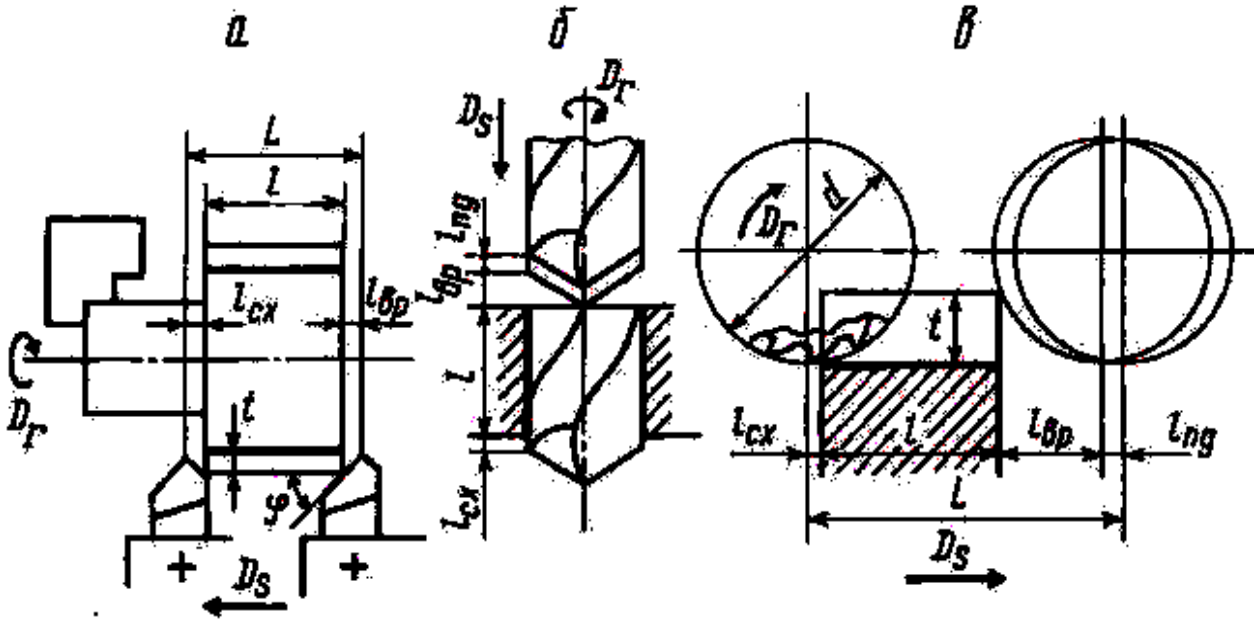


Рис. 25. Схема определения расчетной длины перемещения инструмента: *а* – при продольном точении, *б* – сверлении, *в* – продольном фрезеровании

Режим резания определяется в следующей последовательности:

1. Определяется глубина резания – *t*, мм.

2. Определяется подача – *S*, мм/об. Найденное значение подачи корректируется по станку – принимается ближайшее меньшее.

3. Определяется скорость резания – *V*, м/мин.

4. По скорости резания подсчитывается частота вращения. Найденное значение частоты корректируется по станку – принимается ближайшее меньшее.

5. Значения подачи и скорости резания подсчитываются по эмпирическим формулам или выбираются по таблицам.

6. После определения режима резания производится проверка правильности определения режима резания. Проверка осуществляется по мощности станка и по жесткости детали.

Вспомогательное время определяется по нормативным таблицам в зависимости от типа производства. При этом учитываются следующие затраты времени:

1. Время на установку и снятие детали.

2. Время, связанное с переходом.

3. Время, затрачиваемое на изменение частоты вращения и величины подач.

4. Время, затрачиваемое на смену инструмента.

5. Время, затрачиваемое на контрольные промеры.

Время, затрачиваемое на обслуживание станка и перерывы, определяется в процентах от оперативного времени по нормативам. При этом величина коэффициента определяется (в процентах) в зависимости от типа производства.

Подготовительно-заключительное время определяется по нормативным таблицам в зависимости от типа производства. Оно зависит от типа станка и его сложности, сложности наладки приспособления, способа закрепления детали.

Квалификация работы. После установления нормы времени определяют разряд работы по тарифно-квалификационному справочнику соответствующей отрасли промышленности. Правильное установление разряда имеет значение для эффективного использования фонда заработной платы. В тарифно-квалификационном справочнике указывается, что должен знать и уметь рабочий соответствующего разряда. Чем больше требуется знаний и опыта при выполнении конкретной работы, тем выше должен быть разряд работы и рабочего.

Тарифная сетка состоит из квалификационных разрядов. Ставка оплаты труда устанавливается для первого разряда. Для всех остальных разрядов оплата определяется умножением ставки первого разряда на тарифный коэффициент соответствующего разряда.

8. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

При проектировании технологических процессов решаются две главных задачи: техническая и экономическая. Другими словами технологический процесс должен обеспечить получение всех требований чертежа с минимальными затратами труда.

Проектирование технологических процессов имеет целью дать подробное описание процессов изготовления деталей и всего изделия. Технологические процессы разрабатываются при проектировании новых заводов или при организации производства новых изделий на действующих заводах.

8.1. Выбор заготовок и методов их изготовления

8.1.1. Основные понятия и общие положения

Заготовка – это предмет производства, из которого изменением формы и размеров, свойств материала и шероховатости поверхности изготавливают деталь или неразъемную сборочную единицу – узел.

Выбрать заготовку – это значит определить ее рациональный вид, определяющий конфигурацию заготовки, напуски, уклоны, толщину стенок, размеры отверстий, припуски на обработку, размеры заготовки, допуски на точность их выполнения, назначить технические условия на выполнение заготовки и выбрать оборудование.

Конфигурация заготовки вытекает из конструкции детали и определяется ее размерами и материалом, условиями работы детали в машине с учетом статических, динамических, температурных и других нагрузок.

Конструктор назначает технические требования, предъявляемые к детали, часто задает метод изготовления заготовки для определенного вида производства. В настоящее время число этих методов для каждого вида производства (литья, обработки давлением, прокатки, порошковой металлургии и др.) исчисляется многими десятками.

На основании рабочего чертежа детали технолог заготовительного цеха совместно с технологом механического цеха разрабатывают исходный чертеж заготовки, который в дальнейшем используют для разработки ТП ее изготовления и при проектировании технологической оснастки (штампов, пресс-форм, моделей, форм и др.). Этот чертеж является также исходным документом для разработки ТП механической обработки заготовки. Рабочий чертеж детали в процессе всей работы остается основным и контрольным документом технологической документации. При проектировании сложных и ответственных деталей в этой работе принимает участие конструктор изделия.

Технолог в процессе отработки детали на технологичность обязан проверить обоснованность принятых конструктором решений. Он может рекомендовать конструктору изменить вид заготовки, метод ее изготовления для совершенствования ТП изготовления заготовки в связи с увеличением программы выпуска, отсутствием оборудования на заводе, из-за возможности получения заготовки по кооперации или в связи с другими обстоятельствами.

Перечислим факторы, влияющие на выбор процесса и метода изготовления заготовки:

1. *Технологическая характеристика материала* – его свойства, определяющие возможность применения литья, пластической деформации, сварки, порошковой металлургии. Так, низкая жидкотекучесть и высокая склонность материала к усадке исключают его применение для литья в кокиль или литья под давлением из-за низкой податливости металлических форм. Сплавы, склонные к ликвации (неоднородность по химическому составу в сечении отливки), не применяют для центробежного литья и литья под давлением. Склонность сплава к поглощению газов вызывает на поверхности отливок пористость, что исключает изготовление отливки с гладкой, чистой поверхностью.

Для деформируемых материалов технологической характеристикой является пластичность, а для заготовок, получаемых сваркой или порошковой металлургией, свариваемость материалов.

2. *Физико-механические свойства материала в процессе формоизменения*. С целью их повышения в процесс вводят методы, обеспечивающие изготовление поковок с мелкозернистой и направленной волокнистой структурой, создают направленную кристаллизацию путем охлаждения форм, вакуумируют расплавы, используют комбинированные заготовки, позволяющие изготавливать нагруженные элементы конструкций из легированной стали, применяют другие мероприятия, вызывающие структурные изменения материала заготовки.

3. *Конструктивные формы, размеры детали, ее масса*. В процессе отработки детали на технологичность конструктивные формы упрощают для реализации выбранного метода изготовления исходной заготовки; проверяют соответствие напусков, уклонов, сопряжений, толщин стенок, правильность выбора разъемов штампов и форм. Основная цель при этом – возможность беспрепятственного заполнения металлом формы или штампа с последующим легким извлечением заготовки. При этом руководствуются ГОСТ 2665-85 для отливок и ГОСТ 7505-89 для поковок.

Размеры детали, ее масса оказывают решающее значение при выборе ряда прогрессивных методов, таких, как литье под давлением, в кокиль, по выплавляемым моделям, горячая объемная штамповка. Их применение ограничено техническими возможностями метода.

4. *Объем выпуска*. В единичном и мелкосерийном производствах в качестве заготовок применяют отливки, изготовленные в песчано-

глинистых формах, поковки, полученные ковкой и заготовки из горячекатаного проката. Все они имеют большие припуски и напуски. Стоимость материала заготовки составляет до 50 % себестоимости детали.

В крупносерийном и массовом производствах применяют заготовки, изготовленные специальными методами, которые уменьшают припуски на механическую обработку в среднем на 25 ... 30 %.

5. *Наличие технологического оборудования* – литейного, кузнечного, сварочного и других производств, возможность получения заготовок от специализированных заводов по кооперации. Большая номенклатура деталей машин, разные технические требования, предъявляемые к ним, требуют разработки разнообразных вариантов ТП и методов изготовления заготовок. Это делает задачу оптимального выбора заготовок сложной.

8.1.2. Выбор заготовок, его последовательность

В производственных условиях технологи заготовительного и механического цехов могут встретиться с ситуацией, когда выбор заготовки предопределен, т. е. метод изготовления заготовки определенного вида производства задан конструктором, а технолог лишь уточняет его.

Вторая ситуация, когда выбор заготовки конструктор оставляет за технологом.

Первая ситуация характерна для массового, крупносерийного и серийного производств, вторая – для единичного, мелкосерийного и серийного.

Первый вариант является результатом длительного совместного труда конструктора с технологами механического и заготовительного цехов, основанный на опыте работы детали в процессе эксплуатации машины с учетом ее доработок и доводок. Это характерно для большинства ответственных деталей, определяющих работоспособность машин, например деталей блоков цилиндров и гильз, коленчатых и распределительных валов, торсионов, шатунов, поршневых колец, лопаток и дисков турбин, вкладышей и др. Известно, что исходной заготовкой блока цилиндров из серого чугуна автомобильного двигателя в массовом производстве является отливка в землю при машинной формовке, для блока цилиндров из алюминиевого сплава – отливка, изготовленная литьем под давлением или в кокиль; заготовками для гильз цилиндров в массовом производстве

служат отливки, выполненные методом центробежного литья. В последнее время применяют метод центробежного литья в облицованный кокиль (заготовки для двигателя КамАЗа). Преимущества центробежного литья и литья в кокиль позволяют при этом свести минимальный припуск на механическую обработку самой ответственной поверхности гильзы диаметром $120^{+0,03}$ – "зеркала цилиндра" – к Z_{min} = 3,5 ... 5,5 мм.

Следует отметить, что выбор конструктором метода изготовления заготовки для ответственных деталей часто носит дифференцированный характер.

Объем выпуска определяет применение в ТП прогрессивных методов изготовления заготовок. Например, в массовом производстве шатунов (материал – стали 40Х, 45, 18ХНМ, 40ХНМА), наряду с жесткими техническими требованиями, предъявляются особые требования по прочности, которые в значительной степени определяются процессом изготовления заготовки. Обеспечить их можно включением в ТП операции штамповки на молоте или прессе. Однако массовость выпуска требует применения скоростных процессов, таких как заготовительное вальцевание на ковочных вальцах с последующим формоизменением заготовки на КГШП и чеканкой для повышения точности. Обжатие на ковочных вальцах длится 3 ... 4 с, штамповка на прессе производительнее штамповки на молоте в 4 раза (однако стоимость пресса, как правило, выше стоимости молота). Процесс обеспечивает заготовке предпочтительное расположение волокон материала, макроструктуру, точность размеров с допуском ± 0,25 мм при объемной чеканке и ± 0,05 мм при плоскостной, шероховатость поверхности *Ra* = 2,5 ... 1,25 мкм, коэффициент использования металла до 0,7 ... 0,75.

Часто для деталей массового производства разрабатывают новые процессы и специальные методы изготовления заготовок. В последнем случае, учитывая, что серийным производством выпускается 75 ... 80 % машиностроительной продукции, выбор ТП изготовления заготовок является задачей технико-экономической, определяющей эффективность производства. В этих условиях заготовку часто выбирает технолог.

Имея чертеж исходной заготовки, чертеж детали с указанием ее конфигурации, размеров, материала, технических условий, данные по объему выпуска, нормативные материалы, заготовку выбирают в следующей последовательности: процесс, метод, оборудова-

ние. Основой процесса является принятый метод изготовления заготовки. Структура процесса, его содержание определяется степенью сложности изготавливаемой заготовки и, соответственно, требует применения одного или нескольких методов для его выполнения.

В первую очередь рассматривают технологические возможности материала, приведенные конструктором на чертеже детали, влияние степени его легирования на обрабатываемость.

Если материал детали обладает литейными свойствами и в то же время хорошо обрабатывается давлением, то выбор процесса и метода изготовления заготовки связывают с обеспечением заданного качества детали, т. е. с техническим условием на изготовление.

В результате анализа исключают многие процессы и методы, устанавливают степень технического совершенства принятых решений, выбирают возможные варианты, уточняют их.

Для полной оценки вариантов, если располагают материалами, выполняют технико-экономический анализ, критерием которого является себестоимость. Варианты сравнивают по изменяющимся статьям затрат: стоимости материала, инструмента, технологической оснастки (штампы, пресс-формы, формы, модели и т. д.), оборудования, заработной плате, электроэнергии. Учитывают и другие статьи затрат, если они приводят к значительному изменению варианта.

Как видно, подобный расчет требует большого количества нормативных, справочных и фактических данных, поэтому затруднителен для выполнения. На практике для ориентировочных расчетов по экономике используют статистические материалы, приложения, номограммы, графические зависимости и т. п.

В серийном производстве вал из стали 45 можно изготовить горячей объемной штамповкой или из горячекатаного проката диаметром 90 мм (рис. 26, *а* – *в*). Для принятия решения воспользуемся данными, приведенными в табл. 1.

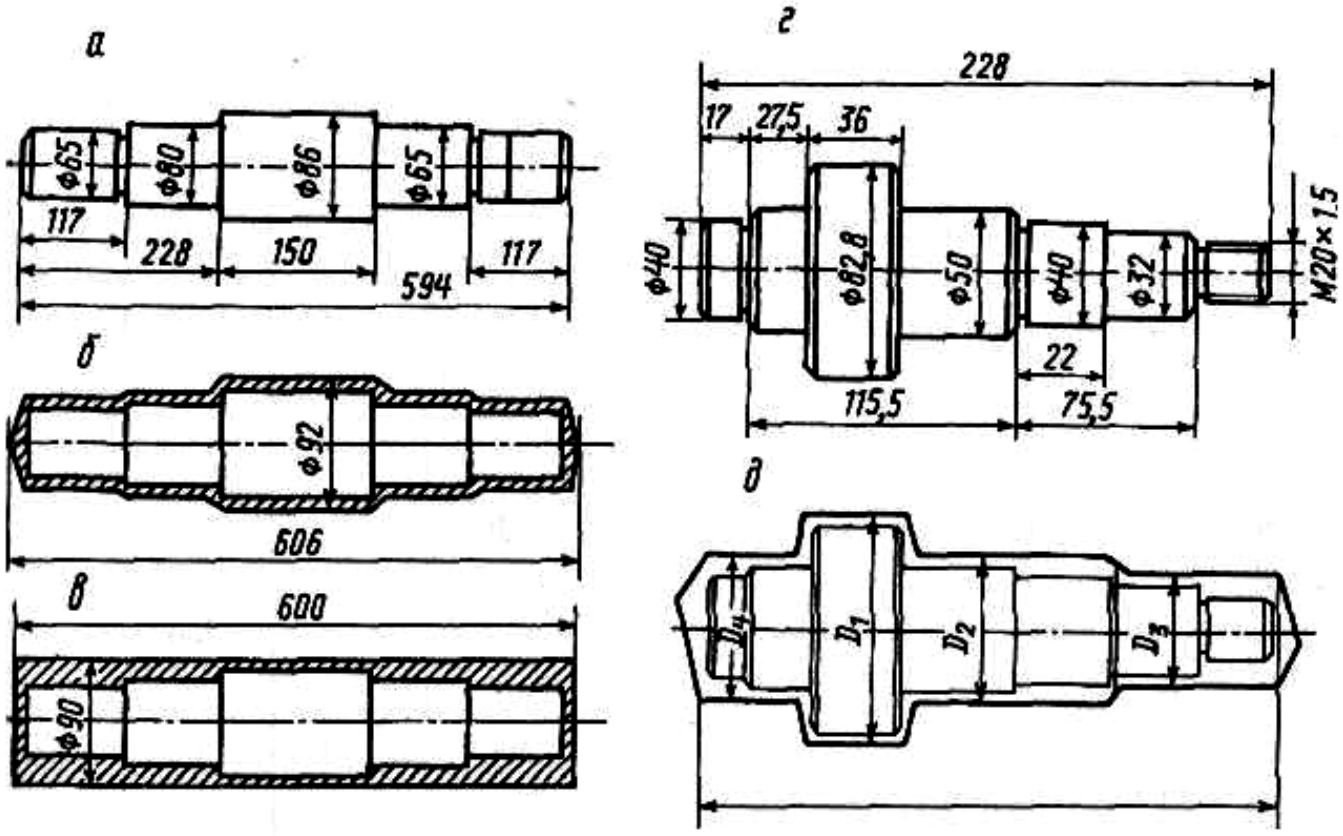


Рис. 26. Вал ступенчатый:
а, г – готовая деталь; *б* – штампованная заготовка; *в* – заготовка из горячекатаного проката; *д* – заготовка, полученная ковкой

Расход проката на одну заготовку составляет 30 кг. Следовательно, ее стоимость будет $\frac{955000}{1000} \cdot 30 = 2850$ у. е. Стоимость одной штамповки массой 25 кг – $\frac{255000}{1000} \cdot 25 = 6375$ у. е.

Таким образом, в рассматриваемом случае, целесообразно использовать горячекатаную заготовку.

Рассмотрим еще один пример. Для вала-шестерни, приведенного на рис. 26, *г* (материал сталь 40Х, масса детали 3,4 кг), с большими перепадами ступеней, чем на рис. 26, *а,* сопоставление

вариантов по данным табл. 1 дает аналогичный результат. Однако коэффициент использования материала для проката составляет 0,4, для штампованной заготовки – 0,66, причем разъемный штамп для ГКМ очень дорогой и окупится только в массовом производстве. Приемлемым вариантом для серийного производства будет ковка на молоте или прессе (рис. 26, *д*) с использованием универсального инструмента ($K_{им}$ = 0,58). При этом припуски на последующую механическую обработку регламентированы ГОСТ.

Более эффективно заготовку можно выбрать с использованием графических материалов. Так, заготовку для зубчатого колеса с одним венцом (рис. 27) из стали 18ХГТ можно изготовить, применяя в ТП методы свободной ковки, штамповки в подкладных и закрепленных штампах.

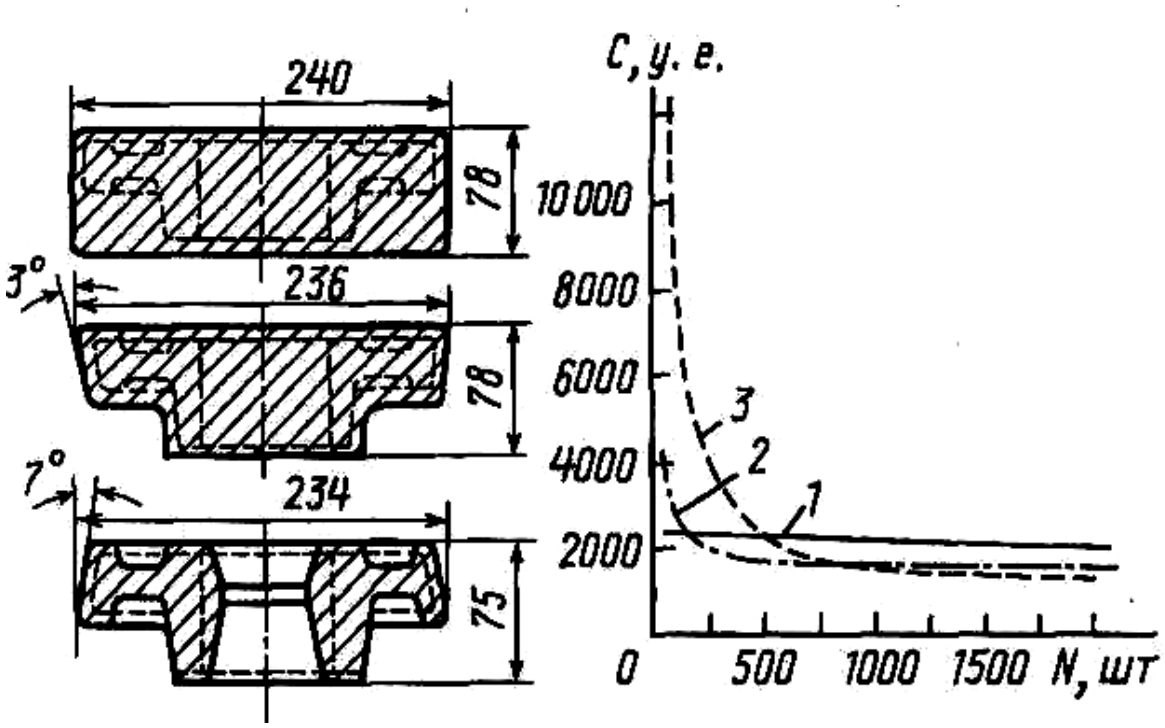


Рис. 27. Зависимость себестоимости *С* исходных заготовок для зубчатого колеса от метода изготовления и объема выпуска *N:*
1 – ковка; *2* – штамповка в подкладных штампах; *3* – штамповка в закрепленных штампах

Таблица 1

Средняя стоимость 1 т материала в условных денежных единицах, у. е.

	Сталь	Цветные металлы и сплавы

Заготовки	Сталь 45	45ХНМ	95Х18	алю-миний	бронза	латунь	медь
Отливки							
В песчаные формы	400	4 00	2000	1700	1300	–	–
В оболочковые формы	1300					1000	
По выплавляемым моделям	3000	–	–	–	–	–	–
Горячештампованные	255	400	1250	–	1250	–	
Холодноштампованные	430	700	2650	–	–	1500	1540
Сортовой горячекатаный прокат							
Мелкий до 19 мм	110	288	300	800	–	800	950
Средний 20 – 110 мм	95	250	1200	600	–	700	900
Крупный 120 – 150 мм	67	165	955	500	850	600	850

Примечание. В условиях инфляции среднюю стоимость необходимо корректировать введением коэффициента.

Зависимость себестоимости изготовления исходной заготовки зубчатого колеса от объема выпуска при разных методах изготовления показывает, что для заготовок, изготовленных методом свободной ковки (см. рис. 27 – прямая 1), изменение объема выпуска практически не сказывается на себестоимости. Это объясняется стабильностью расходов на материал, инструмент и технологическую оснастку, оборудование, энергию и др. Для заготовок, полученных штамповкой в подкладных штампах (см. рис. 27 – кривая *2*), незначительное увеличение себестоимости при малых объемах выпуска объясняется небольшими затратами на инструмент. Увеличение себестоимости для заготовок, изготовленных в закрепленном штампе (см. рис. 27 – кривая *3*), связано с затратами на более дорогой инструмент.

В станкостроении потери металла при производстве отливок средней сложности из стали и чугуна составляют 35 ... 54 %, а при изготовлении исходных заготовок методами пластических деформа-

ций – 5 ... 37 %. Особенно велики потери металла при ковке из слитков на молоте (29 ... 37 %) и прессе (20 ... 33 %). При штамповке из проката на молотах потери составляют 13 ... 26 %, а на ГКМ – 5 ... 13 %.

Потери металла в стружку при механической обработке также зависят от исходных заготовок и составляют 30 ... 50 % для прутков стального проката, 30 ... 45 % – для поковок, 10 ... 30 % – для штампованных поковок, 15 ... 20 % для чугунных отливок в песчаные формы и 10 ... 15 % – для оболочкового литья.

Потери металла в стружку частично компенсируются при ее переплавке, однако 20 % металла стружки уходит на угар, часть улетучивается при окислении, теряется при транспортировке.

В среднем около 20 % металла теряется при изготовлении поковок на молотах и прессах и 30 ... 34 % при их последующей механической обработке. Отсюда следует, что общие потери металла при изготовлении деталей из таких поковок составляют около 50 %. Поэтому выбор метода с малыми припусками всегда приводит к снижению трудоемкости и себестоимости изготовления детали.

С применением ЭВМ на различных этапах технологического проектирования появилась возможность использования комплексных заготовок для групп деталей (рис. 28), сгруппированных по конструктивным и технологическим признакам. Группирование выполняют с учетом следующих предпосылок: 1) все множество размеров можно упорядочить по одному из них, например, по наибольшему диаметру; 2) разбивка по этому параметру через определенные интервалы образует микрогруппы; 3) возможные варианты группирования создают различные сочетания групп. Это приводит к изготовлению одной заготовки для группы деталей, а также экономии затрат на технологическую оснастку и при черновой обработке.

Выбор оптимального варианта изготовления исходной заготовки часто выполняют на ЭВМ на основе системного анализа и критериев по массе заготовки, трудоемкости, себестоимости, комплексным и другим критериям, характеризующим весь производственный цикл изготовления детали.

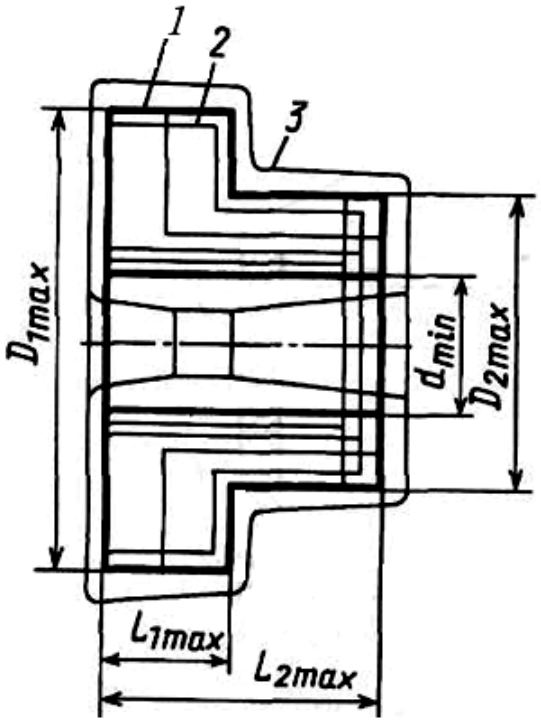


Рис. 28. Эскиз комплексной заготовки

8.2. Виды технологических процессов и технологическая документация

В соответствии с ЕСТД различают *единичный технологический процесс, типовой технологический процесс и типовую технологическую операцию.*

Единичный технологический процесс – это такой технологический процесс, который относится к изделию одного наименования независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – это такой технологический процесс, который содержит одинаковую последовательность большинства технологических операций для группы изделий с общим конструктивным признаком.

Типовая технологическая операция – это такая операция, которая характеризуется единством содержания и последовательности переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Изложение технологических процессов может быть маршрутным (маршрутный технологический процесс), операционным (операционный технологический процесс) и маршрутно-операционным (маршрутно-операционный технологический процесс).

Маршрутный технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по документам, в которых содержание операций излагается без указания переходов и режимов резания.

Операционный технологический процесс – это процесс, выполняемый по документам, в которых содержание операций излагается с указанием переходов и режимов резания.

Маршрутно-операционный технологический процесс – это технологический процесс, в котором содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов резания.

В соответствии с ЕСТД применяется следующая **основная технологическая документация.**

Маршрутная карта содержит описание технологического процесса по всем операциям в соответствующей последовательности. В маршрутной карте указывается оборудование, приспособления и инструмент. Приводятся данные по материальным и трудовым затратам.

Карта эскизов содержит графическую иллюстрацию технологического процесса изготовления изделий.

Операционная карта содержит описание операции технологического процесса с расчленением операции по переходам с указанием режимов резания.

Кроме перечисленных, в соответствии с ЕСТД применяется еще много других видов технологической документации.

Некоторые основные требования к оформлению карты эскизов и операционной карты.

На карте эскизов деталь изображается так, как она будет обрабатываться на станке. Обрабатываемые поверхности выделяются жирными или цветными линиями. Размеры, допуски и шероховатость проставляются такими, какими они получаются после данной операции. На эскизе условными значками указывается способ базирования и закрепления детали. На рис. 29 показан один из способов закрепления детали на токарно-винторезном станке.

Деталь установлена на центрах с поводковым устройством.

При заполнении операционной карты следует иметь в виду, что в пределах одной операции применяется сквозная нумерация всех переходов (технологических и вспомогательных). Технологический переход записывается глаголом неопределенной формы. Например: точить, шлифовать, но не точение, не шлифование. Написание перехода может выполняться следующим образом (для детали, изображенной на рис. 29). Можно записать:

1. Точить, шлифовать и т. д. пов. *1*,

или

2. Точить, шлифовать и т. д. до Ø26,5 на длину 40.

Указывать номер обрабатываемой поверхности (пов. *1*) можно одним из вариантов, указанных на рис. 29.

Исходными данными для проектирования технологических процессов являются рабочие чертежи, технические условия на изготовление изделия и производственная программа.

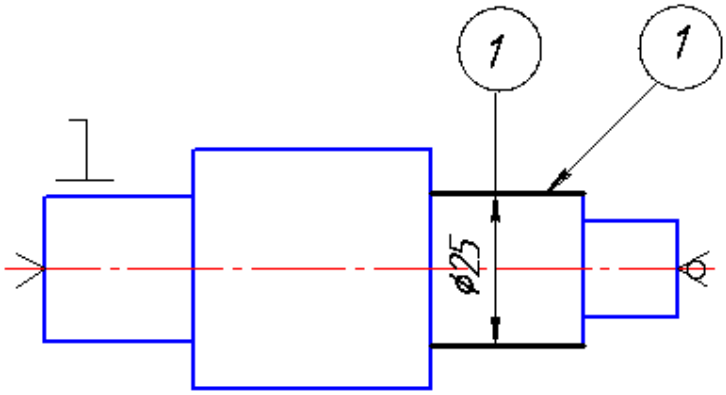


Рис. 29. Схема базирования детали на токарно-винторезном станке и варианты обозначения обрабатываемой поверхности *1*

При разработке технологических процессов применяются два метода: концентрации операций и дифференциации операций.

Сущность метода концентрации состоит в объединении в пределах одной операции большого количества переходов или даже нескольких простых операции в одну сложную операцию, выполняемую на одном сложном станке.

Сущность метода дифференциации состоит в разделении операций на простейшие, выполняемые на большом количестве сравнительно простых станков.

В современном машиностроении все больше стремятся применять принцип концентрации операции, так как при этом методе повышается производительность и точность.

8.3. Основы построения технологического маршрута и выбор метода обработки детали

Приступая к разработке технологического процесса, необходимо, прежде всего, установить тип производства и выбрать вид заго-

товки. При разработке технологического маршрута нужно решить две главные задачи: назначить базы и установить последовательность обработки поверхностей.

На основании анализа технических требований к изделию назначают конструкторские и сборочные базы, устанавливаются технологические базы для всех операций.

При назначении технологических баз нужно правильно выбрать черновые и чистовые базы. Так, например, при обработке валов в качестве чистовой базы применяются центровые отверстия, а в качестве черновой базы при фрезеровании торцов и зацентровке используется наружная цилиндрическая поверхность вала.

После выбора баз устанавливается последовательность обработки поверхностей деталей.

Первыми обрабатываются базовые поверхности. Затем обрабатываются те поверхности, с которых снимается наибольший припуск, или те поверхности, на которых недопустимы никакие дефекты.

При назначении дальнейшей последовательности обработки следует руководствоваться следующим принципом: чем точнее и чище должна быть обработана поверхность, тем позднее ее следует обрабатывать. Если такие поверхности невозможно обработать последними, то их обработка должна быть повторена в виде отделочной обработки.

Поверхности, связанные точным взаимным расположением, следует обрабатывать с одной установки. Поверхности, которые в значительной степени снижают жесткость детали, должны обрабатываться последними.

Установив последовательность обработки поверхностей, приступают к выбору методов обработки.

Выбор метода обработки зависит от требований чертежа по точности и качеству обработанной поверхности.

Выбор метода обработки зависит от свойств обрабатываемого материала и характера заготовки. В первую очередь выбирают метод окончательной обработки, а затем выбирают промежуточные методы обработки. При выполнении промежуточных методов обработки достигается постепенное повышение точности от заготовки к готовой детали. При выборе методов обработки пользуются таблицами экономической точности обработки. Выбирая метод обработки, следует стремиться к такому, который обеспечивает достижение требований чертежа при меньшем количестве переходов. Желательно, чтобы

этим методом можно было обрабатывать возможно большее количество поверхностей. В тех случаях, когда обработка возможна различными методами, следует сопоставить их по производительности и экономичности.

Выбор оборудования, приспособления и режущего инструмента. Выбирая метод обработки, одновременно выбирают станок, на котором будет выполняться данная обработка. При выборе типа станка учитывается возможность выполнения требований чертежа. Кроме того, при выборе станка следует учитывать габариты детали, возможность более полного использования станка по мощности, соответствие паспортных данных станка расчетным значениям режима резания и др.

Одновременно с выбором станка выбирается приспособление. Если приспособление является принадлежностью станка (патрон, тисы), то указывается только его наименование. Если требуется специальное приспособление, то технологом разрабатывается схема приспособления, способ базирования и выдается задание на проектирование приспособления.

При выборе станка одновременно выбирается и необходимый режущий инструмент. Выбор типа инструмента зависит от вида станка, метода обработки, материала обрабатываемой детали, требований чертежа.

Выбор материала режущей части имеет большое значение. Для обработки стали применяют титановольфрамовые твердые сплавы.

Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов применяет вольфрамовые сплавы.

Минералокерамические сплавы применяется для чистовой обработки без ударной нагрузки.

Инструментальные стали применяют для сложных, фасонных инструментов, для инструментов, работающих при низких скоростях резания.

Алмазные инструменты для отделочной обработки при высоких скоростях резания. Из материалов для абразивных инструментов наиболее широко применяют электрокорунд и карбид кремния различных марок. Электрокорунд применяется при обработке стали. Карбид кремния черный – для обработки чугуна и цветных материалов. Карбид кремния зеленый – для обработки твердых сплавов.

Алмазные абразивные инструменты применяются, главным образом, для заточки и доводки режущих инструментов.

При разработке маршрута изготовления детали и его структуры рекомендуется следующая последовательность работы:

- выбрать тип заготовки;
- произвести технологическую разметку чертежа, пронумеровав все поверхности, подвергаемые механической обработке;
- в соответствии с рекомендациями таблиц среднеэкономических достижимых точностей обработки выбрать для каждой из пронумерованных поверхностей требуемое количество операций (переходов); составить из выбранных таким образом операций маршрут изготовления детали (рис. 30) и представить его в виде табл. 2;
- необходимо отметить, что для упрощения маршрута изготовления вала на его эскизе не полностью приведены его элементы и технические требования;
- название и краткое содержание операций, представленных в таблице, соответствуют требованиям стандарта ЕСТД (Правила записи операций и переходов. Обработка резанием).

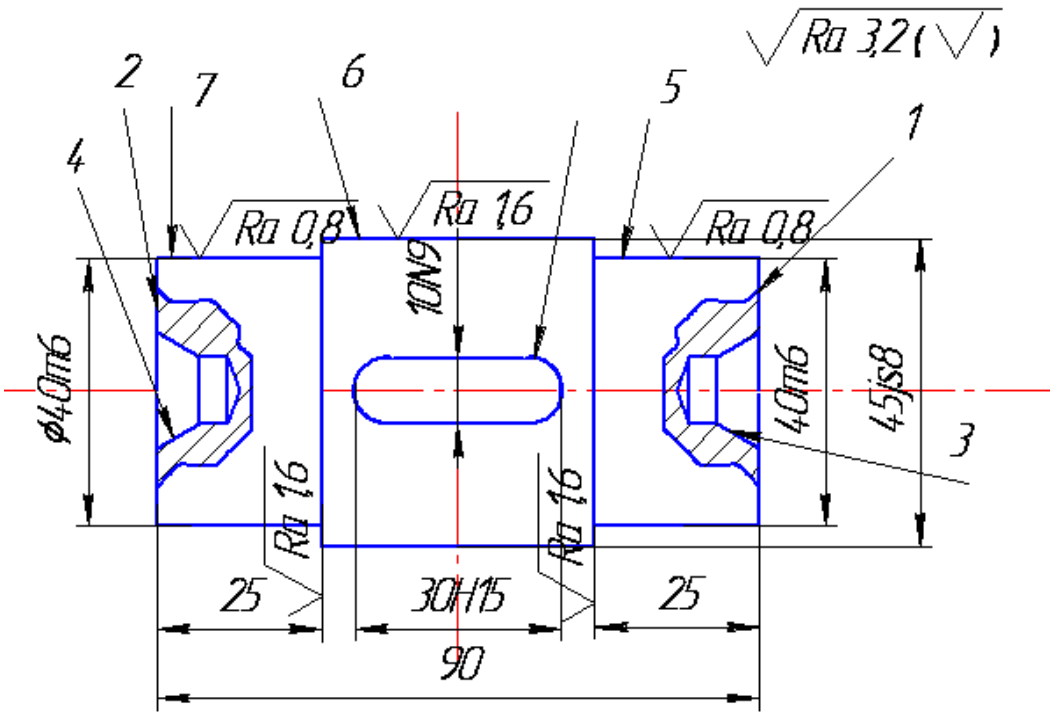
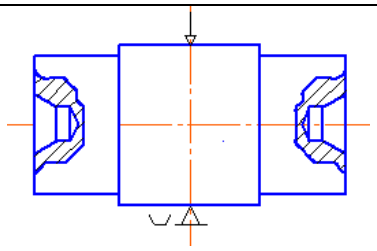
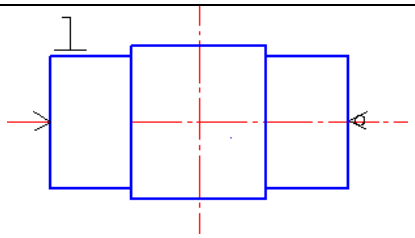
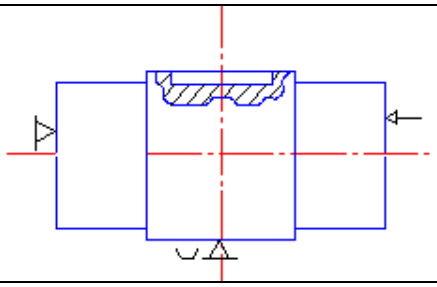
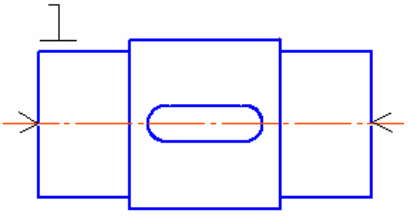


Рис. 30. Чертеж вала

Таблица 2

Маршрут изготовления вала

Операция	Наименование, содержание операции	Схема базирования	Станок, оборудование, оснастка
005	*Фрезерно-центровальная*		
	Фрезеровать торцы 1 и 2 и сверлить центровые отверстия 3 и 4		Фрезерно-центровальный станок 2Г942, приспособление при станке
010	*Токарно-винторезная*		
	Точить поверхности 5, 6 и 7		Токарно-винторезный станок 16Т02П, вращающийся центр, поводковый патрон
015	*Вертикально-фрезерная*		
	Фрезеровать шпоночный паз 8		Шпоночно-фрезерный станок 6930, призма, упор
020	*Круглошлифовальная*		
	Шлифовать поверхности 5, 6 и 7		Круглошлифовальный ЗУ10В. Центры, хомутик

Примечание. В таблице приведена только номенклатура необходимых операций, а не их количество, которое зависит от точности каждой обрабатываемой поверхности

8.4. Проектирование технологических процессов сборки

Сборка является заключительным этапом в производстве машин. От качества сборочных работ в значительной степени зависит работоспособность, надежность и долговечность машин. Трудоемкость сборочных работ составляет в массовом производстве менее 20 % от трудоемкости механической обработки, в серийном – 20 – 40 %, в единичном – более 50 %. Исходными данными для проектирования технологических процессов сборки являются сборочные чертежи, технические условия на приемку и испытание изделий, производственная программа. Основным видом работ при сборке является выполнение различных соединений деталей. Соединения может быть выполнено подвижным или неподвижным.

Неподвижные соединения могут быть разборными и неразборными. Неподвижные неразборные соединения получают: сваркой, пайкой, склепыванием, прессованием, при этом охватывающая деталь нагревается или охлаждается охватываемая деталь.

Неподвижные разборные соединения получают путем соединения деталей с посадками, например: *n*6, *m*6, *K*6, *Js*6 резьбовым креплением, посадкой на конус.

Подвижные соединения осуществляется при посадках, например: *h*6, *g*6, *f*6 и др., а также при соединении шаровых, конических и винтовых поверхностей.

Технологический процесс сборки состоит из операций, главными из которых являются:

1. Соединение сопрягаемых деталей.
2. Контроль и регулирование точного взаимного расположения деталей.
3. Фиксирование правильного положения.
4. Очистка, промывка, пропитка, подкраска.
5. Если имеется электрическая часть, то отдельно выделяется электрическая сборка.

Методы сборки. Для получения требуемой точности замыкающего звена размерной цепи применяют следующие методы сборки: метод полной взаимозаменяемости; метод групповой взаимозаменяемости; метод неполной взаимозаменяемости; метод компенсаторов; метод пригонки по месту.

Стадии сборки. Многие детали соединяются с другими деталями, образуя сборочные единицы (узлы), и уже после этого направ-

ляются на общую сборку. Сборочный процесс состоит из следующих стадий:

1. Соединение деталей в сборочные единицы, агрегаты.
2. Общая сборка.
3. Регулирование.
4. Испытание (на холостом ходу, под нагрузкой и т. д.).
5. Окраска.
6. Консервация.

Организационные формы сборки. Различают стационарную и подвижную сборку. Стационарная сборка выполняется рабочим или группой рабочих на одном неподвижном рабочем месте.

Подвижная сборка характеризуется тем, что изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому. При этом передвижение может осуществляться и периодически, и непрерывно – принудительно.

Сборка машин, так же как и обработка, может осуществляться по принципу концентрации и дифференциации. При методе концентрации машина полностью собирается бригадой на одном рабочем месте (обычно в единичном производстве). При методе дифференциации процесс сборки расчленяется на отдельные операции, каждая из них выполняется на одном рабочем месте (подвижном или неподвижном). Иногда применяется построение сборки по смешанному методу. Общая сборка осуществляется по методу концентрации, а узловая – по методу дифференциации.

Технологические схемы, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологические схемы сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия или узла (рис. 31).

На технологических схемах каждая деталь или сборочная единица обозначается прямоугольником, разделенным на 3 части. В верхней части прямоугольника указывают наименование детали или сборочной единицы, в левой нижней части – номер, присвоенный детали или сборочной единице на сборочных чертежах изделия, в правой нижней части – число собираемых элементов. Сборочные единицы обозначают буквами «Сб» (сборка). Базовыми называются детали или сборочные единицы, с которых начинается сборка. Каждой сборочной единице присваивается номер ее базовой детали. Например, «Сб. 3» – сборочная единица с базовой деталью *3* (седло).

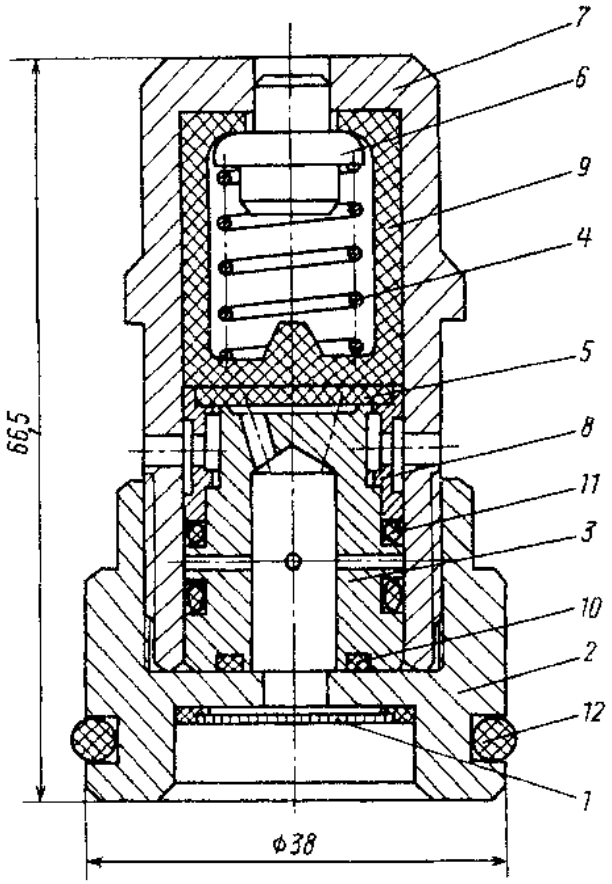


Рис. 31. Гидроклапан предохранительный

Технологическую схему сборки строят в следующей последовательности.

В левой части схемы (рис. 32, 33) указывают базовую деталь или базовую сборочную единицу. В правой части схемы указывают собираемое изделие в сборе. Эти два прямоугольника соединяют горизонтальной линией. Выше этой линии прямоугольниками обозначают все детали, входящие непосредственно в изделие, в порядке, соответствующем последовательности сборки. Ниже этой линии прямоугольниками обозначают сборочные единицы, непосредственно входящие в изделие.

Схемы сборки сборочных единиц могут строиться как отдельно (по приведенному выше правилу), так и непосредственно на общей схеме, развивая ее в нижней части схемы (под линией).

Технологические схемы сборки сопровождаются подписями, если они не очевидны из самой схемы, например, «Запрессовать», «Сварить», «Проверить на биение» и т. д.

Технологические схемы сборки одного и того же изделия многовариантные. Оптимальный вариант выбирают из условия обеспечения

заданного качества сборки, экономичности и производительности процесса при заданном масштабе выпуска изделий. Составление технологических схем целесообразно при проектировании сборочных процессов для любого типа производства. Технологические схемы упрощают разработку сборочных процессов и облегчают оценку изделия на технологичность.

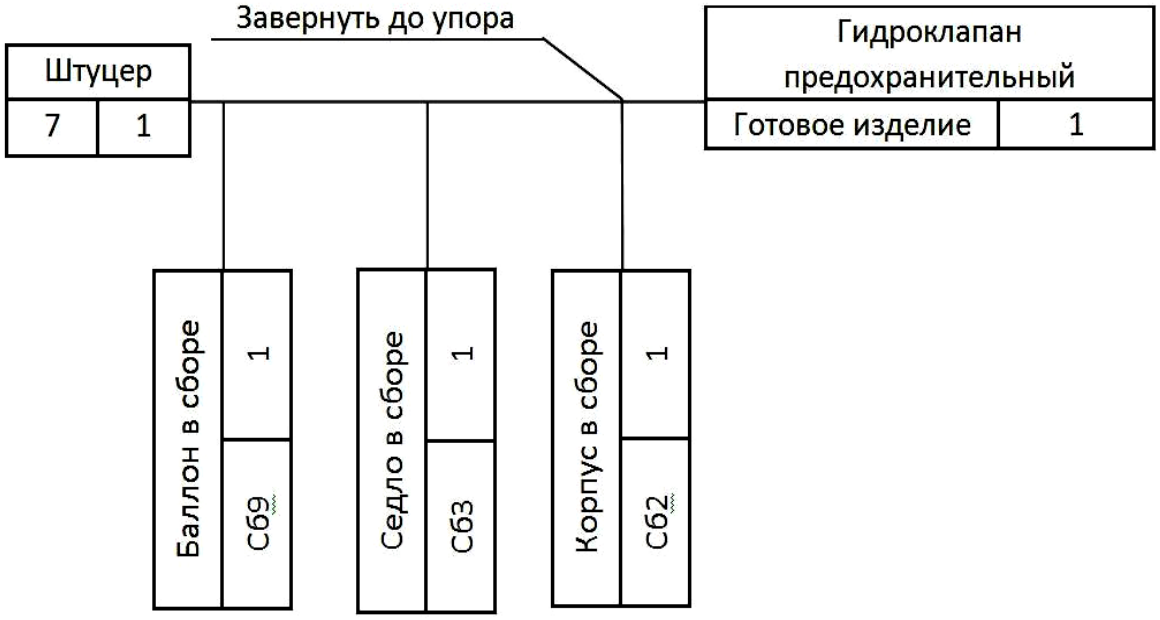


Рис. 32. Технологическая схема общей сборки

Технологические процессы сборки типовых сборочных единиц, сборки неподвижных разъемных соединений (резьбовых, шпоночных, шлицевых и т. п.), сборки неразъемных соединений (пластическим деформированием, сваркой, пайкой, склеиванием), сборки различных передач машин и механизмов (зубчатые, цепные и др.) описаны в соответствующей справочной литературе.

По принятым технологическим схемам общей и узловой сборки выявляют основные сборочные операции. Содержание сборочной операции устанавливают так, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась однородная по своему характеру и технологически законченная работа, что способствует лучшей специализации сборщиков и повышению производительности их труда. Содержание операции зависит также от выбранного типа производства и метода работы (поточный или непоточный).

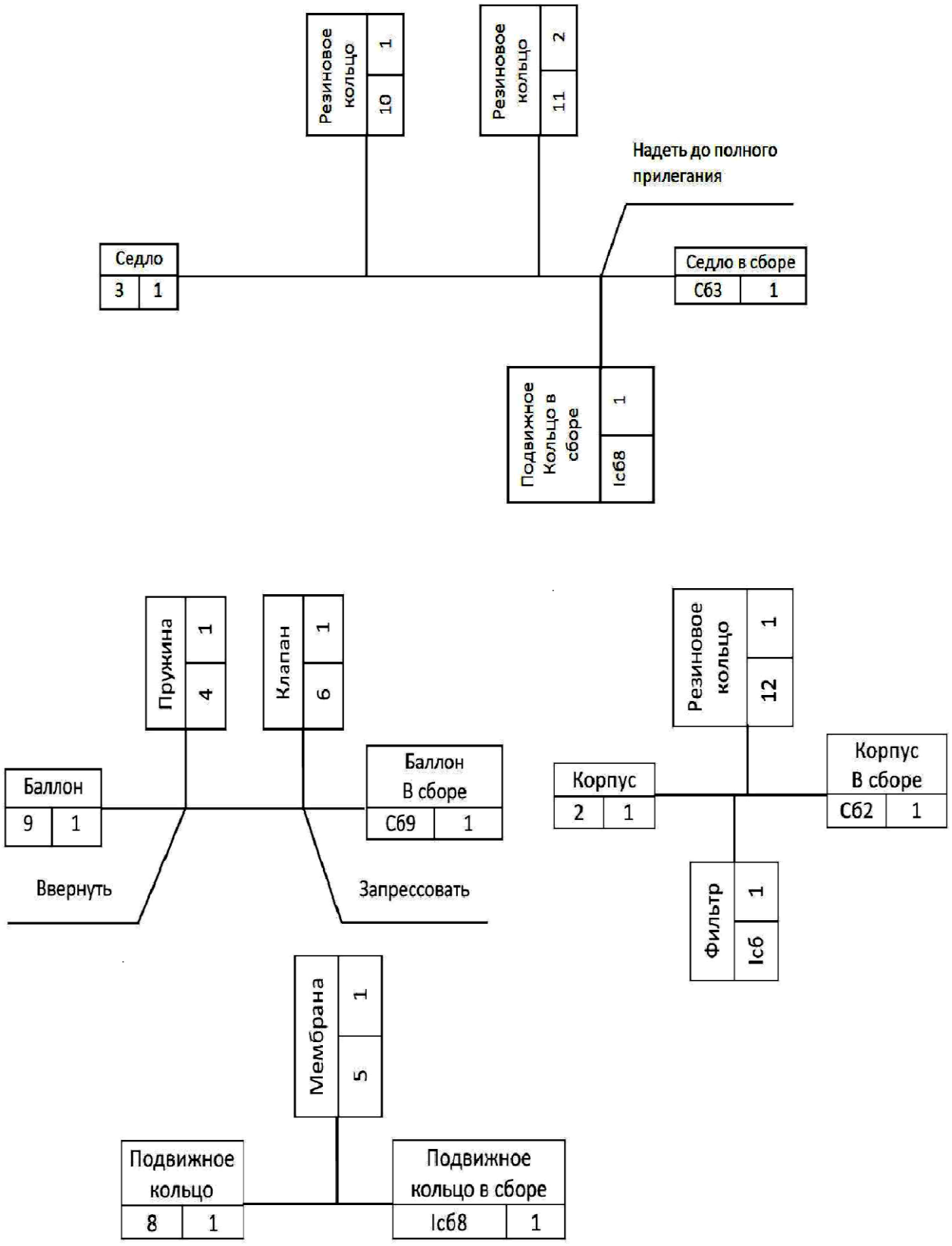


Рис. 33. Технологические схемы узловой сборки

8.5. Проектирование технологических процессов восстановления деталей

В процессе эксплуатации отдельные элементы деталей изнашиваются и выходят из строя. При ремонте ставится задача восстановить работоспособность машины или узла.

Наиболее частой причиной выхода из строя является износ отдельных поверхностей детали. Проектирование технологических процессов восстановления состоит из следующих этапов:

1. Анализ технического состояния детали. При анализе состояния детали, прежде всего, встают вопросы: к какой группе должна быть отнесена деталь, и какие критерии использовать для этого.

К первой группе (годные для повторного использования) относят детали с износом в пределах допуска на изготовление или имеющих отклонение в пределах допустимых техническими требованиями на дефектацию и ремонт, а также с незначительными повреждениями (мелкие царапины или вмятины).

Ко второй группе (подлежащие восстановлению) относят детали с износом, превышающим допустимые значения, или с повреждениями, устранение которых (с учетом служебного назначения детали) по техническим и экономическим соображениям целесообразно.

В производственных условиях разработаны и реализованы десятки различных способов восстановления деталей. Технические возможности различных способов восстановления и рекомендуемая область их применения.

Для повышения надежности и долговечности капитально ремонтируемого горного оборудования большое значение имеют научно обоснованные способы и технологические процессы восстановления детали. Решение этого вопроса имеет большое хозяйственное значение особенно в связи с развитием восстановления деталей на специализированных предприятиях, фирмах, цехах в условиях крупносерийного, серийного и, возможно, единичного производства.

В отличие от технологического процесса изготовления деталей, процесс восстановления имеет специфические особенности. При изготовлении сырьем для готовых деталей служит заготовка, в то время как при восстановлении заготовкой является сама деталь. Поэтому целью технологического процесса восстановления деталей является не превращение заготовки в готовую деталь, путем оптимального варианта механической обработки, а возвращение детали утраченной

работоспособности наиболее рациональным способом, обеспечивающим необходимую долговечность детали при наименьшей стоимости ее восстановления. Таким образом, выбор рационального способа является одним из основных вопросов при разработке технологических процессов восстановления детали.

При выборе баз необходимо руководствоваться теми же принципами, что и при изготовлении новой детали.

При восстановлении необходимо использовать те же базы, что и при изготовлении новой детали. Следует иметь в виду, что при восстановлении деталей специальные приспособления применяются довольно редко. Как правило, при установке приходится применять выверку деталей.

Выбор способа восстановления зависит от конструктивно-технологических особенностей и условий работы деталей, величины их износов, эксплуатационных свойств самих способов, определяющих долговечность отремонтированных деталей, стоимости их восстановления.

Конструктивно-технологические особенности деталей определяются:

- их структурными характеристиками – геометрической формой и размером, материалом и термообработкой;
- поверхностной твердостью, точностью изготовления, шероховатостью поверхности;
- характером сопряжения (типом посадки);
- условиями работы – характером нагрузки, родом и видом трения, величиной износа за эксплуатационный период.

Проанализировав параметры детали, приходим к выводу, что данную деталь можно отнести к группе, подлежащих восстановлению, так как износ детали превышает допустимые значения, устранение которых по техническим и экономическим соображениям целесообразно.

2. Выбор способа восстановления проводится согласно технологическому критерию, критерию долговечности и технико-экономическому критерию ($К_{тэ}$). Правильность выбранного варианта восстановления определяется с помощью технико-экономического анализа. Такой анализ осуществляется по технологической себестоимости. В технологическую себестоимость включаются затраты на материал, основная заработная плата с начислениями и расходы на

амортизацию оборудования, приспособления, инструмента и электроэнергию.

По данным расчета выбираем способ восстановления детали с наименьшим $K_{тэ}$.

3. Разработка технологического маршрута восстановления. Следует иметь в виду, что перед нанесением покрытия необходимо проводить механическую обработку поверхности детали, чтобы пространственно разделить межфазную границу покрытия – деталь и плоскость действия наибольших касательных напряжений. В противном случае, при дальнейшей механической обработке или при эксплуатации, может произойти локальное или полное отделение покрытия от детали, что сведет на нет все усилия по ее восстановлению.

4. Выбор оборудования, приспособлений, инструмента для механической обработки производится с учётом типа производства, материала детали и т. п.

Выбор оборудования проводится с учётом типа производства и числа деталей в партии.

5. Расчет припусков при восстановлении размеров детали. Определяют припуски на обработку и рассчитывается толщина наращиваемого слоя.

Толщина наращиваемого слоя при восстановлении на сторону

$$t = u + \rho + t_{предв} + t_{чист} + t_{черн},$$

где u – износ поверхности на сторону;

ρ – искажение геометрической формы изношенной поверхности:

$t_{предв.}$ – припуск на предварительною обработку перед восстановлением;

$t_{чист.}$ – припуск на чистовую обработку;

$t_{черн.}$ – припуск на черновую обработку.

6. Расчёт режимов восстановления, механической обработки и нормирование операции (рассмотрен в [5]).

Проверка правильности назначения режимов резания по мощности станка, кВт

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \le N_{ст},$$

где $N_{ст}$ – мощность двигателя на станке.

Нормирование операций механической обработки – определение полного времени восстановления детали.

7. Разработка технической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьев Л. К. Технология машиностроения и ремонт машин. – М.: Высшая школа, 1981. – 344 с.

Дмитриев В. Т ., Боярских Г. А. Проектирование технологических процессов восстановления деталей и ремонтных баз горных предприятий. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. – 140 с.

Егоров М. Е., Дементьев В. И., Дмитриев В. Л. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976. – 533 с.

Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: учеб. пос. для вузов / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин; под редакцией С. Л. Мурашкина. – М.: Высшая школа, 2003. – 278 с.

Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 2. Производство деталей машин: Учеб. пос. для вузов / Э. Л. Жуков, И. И. Козарь, С. Л. Мурашкин [и др.]; под редакцией С. Л. Мурашкина. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 4
1.1. Производственный и технологический процессы 4
1.2. Типы производства, формы организации и виды технологических процессов 6
1.3. Структура технологического процесса и его основные характеристики .. 8
2. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВА 12
3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАБОТАННЫХДЕТАЛЕЙ ... 19
3.1. Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства детали 19
3.2. Факторы, влияющие на качество поверхностного слоя 23
3.3. Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя 25
3.4. Технологическая наследственность 26
3.5. Методы оценки качества поверхностного слоя 32
4. БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ 33
4.1. Основные принципы выбора баз 34
4.2. Правило шести точек при базировании 36
5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ 37
5.1.Факторы, влияющие на точность обработки 38
5.2. Определение погрешностей обработки 40
6. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ 45
6.1. Определение и основные понятия 45
6.2. Факторы, влияющие на величину припуска 47
6.3. Методы расчета припуска 49
7. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ 50
7.1. Состав нормы времени 51
7.2. Методы определения нормы времени 51
8. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 54
8.1. Выбор заготовок и методов их изготовления 54
8.2. Виды технологических процессов и технологическая документация 64
8.3. Основы построения технологического маршрута и выбор метода обработки детали 66
8.4. Проектирование технологических процессов сборки 71
8.5. Проектирование технологических процессов восстановления деталей. 76
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 79

Учебное издание

Татьяна Петровна Глинникова
Сергей Александрович Волегов

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие
по курсу «Технология машиностроения»
для студентов специальности
130602 – «Машины и оборудование
нефтяных и газовых промыслов» (МНГ)
направления
130600 – «Оборудование и агрегаты
нефтегазового производства»
очного и заочного обучения

Редактор *В. В. Баклаева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 5,0. Уч. изд. л. 4,65. Тираж 180 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Справочно-методическое пособие
по заполнению технологических карт
15.03.01«Машиностроение»,
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Справочно-методическое пособие
по заполнению технологических карт «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) направление 150700.62 «Машиностроение», 151000 –«Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (ТМО) и среднего профессионального образования 151031 – «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Издание УГГУ Екатеринбург, 2008

Г54

Рецензент: *М .Л. Хазин*, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭГО
Уральского государственного горного университета

Справочно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры

эксплуатации горного оборудования г. (протокол №) и рекомендован для издания в УГГУ

Глинникова Т. П., Волегов С. А.
Г54 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ / Справочно-методическое пособие по оформлению технологических карт.
Т. П. Глинникова, С. А Волегов – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. – 54 с.

В справочно-методическом пособии рассмотрены основные требования стандартов 1974 и 1982 г.г. по оформлению маршрутных и операционных карт, карт эскизов, а также основные правила записи технологических переходов и базирования деталей с методическими указаниями и примерами.

Для студентов направления 150700.62 – «Машиностроение», направления 151000 – «Технологические машины и оборудование» и среднего специального образования 151031 «Монтаж и эксплуатация промышленного оборудования» очного и заочного обучения.

© Глинникова Т. П., Волегов С. А., 2011
© Уральский государственный горный университет, 2011

ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Разработка технологического процесса механической обработки детали заканчивается составлением и оформлением комплекта документов технологического процесса.

Состав и формы карт, входящих в комплект документов, зависят от вида технологического процесса (единичный, типовой или групповой), типа производства и степени использования разработчиком средств вычислительной техники и автоматизированной системы управления производством.

В маршрутном технологическом процессе содержание операций излагается только в маршрутной карте без указания технологических переходов. Этот процесс применяется в единичном и мелкосерийном типах производства.

В операционном технологическом процессе маршрутная карта содержит только наименование всех операций в технологической последовательности, включая контроль и перемещение, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты. Сами операции разрабатываются на операционных картах. Применяется при серийном типе производства.

В маршрутно-операционном технологическом процессе, применяемом при крупносерийном и массовом типах производства, предусматривается краткое описание содержания отдельных операций в маршрутной карте, а остальные операции оформляются на операционных картах.

При выполнении курсового и дипломного проектирования студентами рекомендуется операционная или маршрутно-операционная степень детализации описания технологического процесса. ***Конкретно степень детализации описания технологического процесса оговаривается с руководителем работы (!).***

1.МАРШРУТНАЯ КАРТА

Маршрутная карта является основным и обязательным документом любого технологического процесса. Формы и правила оформления маршрутных карт, применяемых при отработке технологических процессов изготовления или ремонта изделий в основном и вспомогательном производствах, регламентированы согласно ГОСТ 3.1118–82 форма 1 (Формы и правила оформления маршрутных карт) **или ГОСТ 3.1105–74 форма 3.**

К заполнению граф технологических документов предъявляются следующие требования (ГОСТ 3.1118–82 форма 1).

Каждая строка мысленно делится по горизонтали пополам и информацию записывают в нижней ее части, оставляя верхнюю часть свободной для внесения изменений.

Для изложения технологических процессов в маршрутной карте используют способ заполнения, при котором информацию вносят построчно несколькими типами строк. Каждому типу строки соответствует свой служебный символ. Служебные символы условно выражают состав информации, размещаемой в графах данного типа строки формы документа, и предназначены для обработки содержащейся информации средствами механизации и автоматизации. Простановка служебных символов является обязательной в любом случае. В качестве обозначения служебных символов приняты прописные буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки. Указание соответствующих служебных символов для типов строк в зависимости от размещаемого состава ин-

формации в графах маршрутной карты следует выполнять в соответствии с табл. 1. При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ «*О*», следует руководствоваться требованиями, которые устанавливают правила записи операций и переходов (разд. 2).

При операционном описании технологического процесса на маршрутной карте номер перехода следует проставлять в начале строки.

При заполнении информации на строках, имеющих служебный символ «*Т*», следует руководствоваться требованиями соответствующих классификаторов, государственных и отраслевых стандартов на кодирование (обозначение) и наименование технологической оснастки.

Информацию о применяемой на операции технологической оснастке записывают в следующей последовательности:

1) приспособления;

2) вспомогательный инструмент;

3) режущий инструмент;

4) слесарно-монтажный инструмент;

5) специальный инструмент;

6) средства измерения.

Разделение информации по каждому средству технологической оснастки следует выполнять через знак «;» .Сведения, вносимые в отдельные графы и строки маршрутной карты, выбираются из табл. 2. Для удобства поиска соответствующих граф карты номера пунктов таблицы продублированы выносными линиями на полях

рис. 1.

Основные надписи в маршрутной карте (ГОСТ 3.1105–74 форма 3) следует выполнять в соответствии с указанием табл. П2.1. и рис. П2.1, рис. П2.2.

Таблица 1

Сведения, вносимые в графы, расположенные на строке маршрутной карты

Обозначение служебного символа	Содержание информации, вносимой в графы, расположенные на строке
А	Номер цеха, участка, рабочего места, где выполняется операция; код и наименование операции
Б	Код, наименование оборудования и информация по трудозатратам
К	Информация о комплектации изделия (сборочной единицы) составными частями с указанием наименования деталей, сборочных единиц, их обозначений, кода единицы величины, единицы нормирования, количества на изделие и нормы расхода
М	Информация о применяемом основном материале и исходной заготовке, о применяемых исходных и комплектующих материалах, кодах единицы величины, единицы нормирования, количестве на изделие и нормы расхода
О	Содержание операции (перехода)
Т	Информация о применяемой при выполнении операции технологической оснастке
Р	Информация о режимах обработки

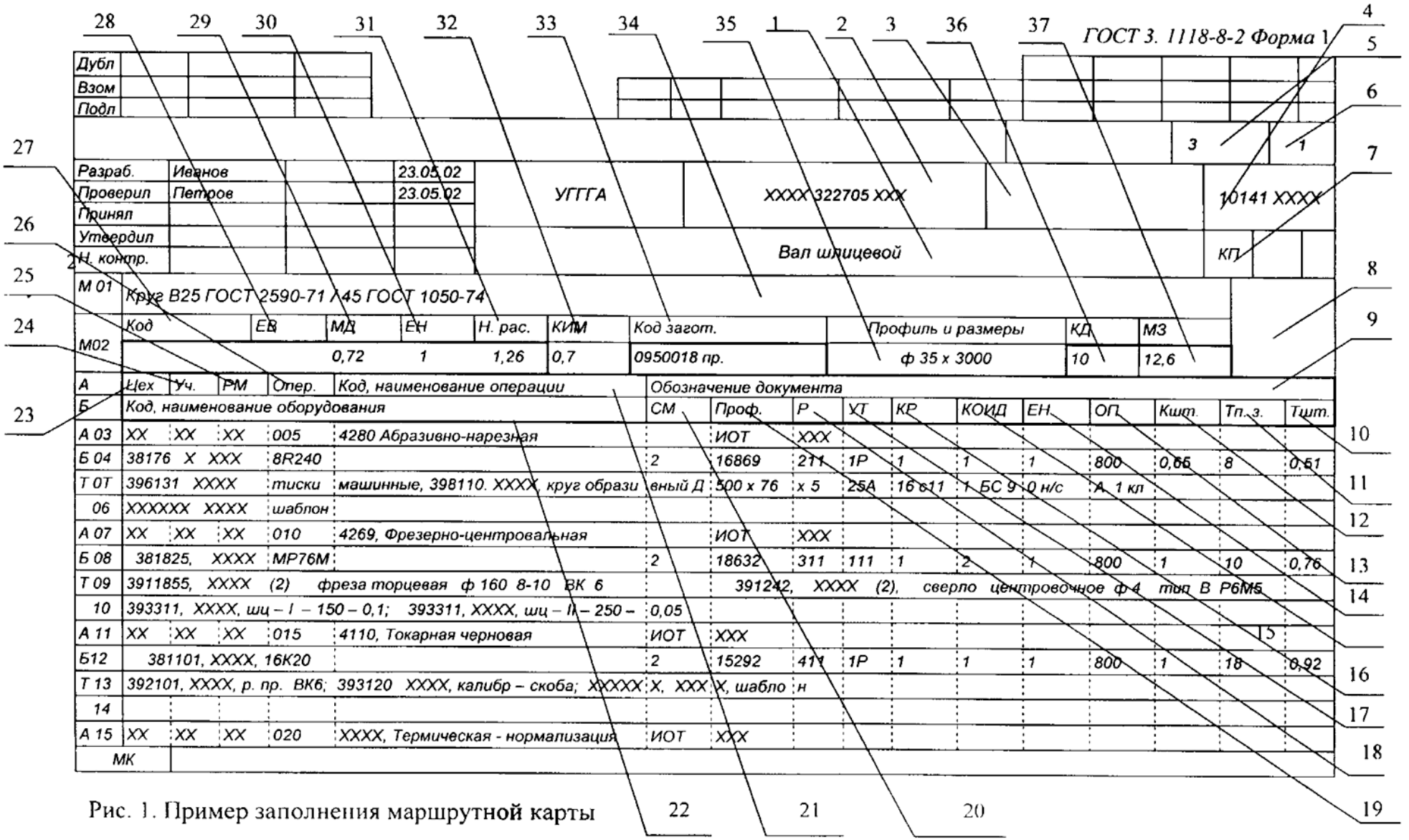


Рис. 1. Пример заполнения маршрутной карты

Таблица 2

Сведения, вносимые в отдельные графы и строки маршрутной карты

Номер пункта поиска	Наименование (условное обозначение графы)	Служебный символ	Содержание информации
1	2	3	4
1	–	–	Наименование изделия (детали, сборочной единицы) по основному конструкторскому документу
2	–	–	Обозначение изделия по основному конструкторскому документу или код ступени классификации по конструкторскому классификатору
3	–	–	Код классификационных группировок технологических признаков для типовых и групповых технологических процессов по технологическому классификатору [1,2]
4	–	–	Обозначение документа по ГОСТ 3.1201-85 (Система обозначения технологической документации)
5	–	–	Общее количество листов документа
6	–	–	Порядковый номер листа документа
7	–	–	Литера, присвоенная технологическому документу. При дипломном проектировании записывать «*ДП*», при курсовом – «*КП*»
8	–	–	Графа для особых указаний
9	обозначение документа		Обозначение документов, применяемых при выполнении данной операции, например, *ИОТ* – инструкция по охране труда
10	$T_{шт.}$	*Б*	Норма штучного времени на операцию, мин
11	$T_{п.з.}$	*Б*	Норма подготовительно-заключительного времени на операцию, мин

Продолжение табл. 2

<table>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">12</td><td rowspan="3">$К_{шт}$</td><td rowspan="3">Б</td><td>Коэффициент штучного времени при многостаночном обслуживании, зависящий от количества обслуживаемых станков</td></tr>
<tr><td><table>
<tr><td>Количество станков</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>$К_{шт}$</td><td>1</td><td>0,65</td><td>0,48</td><td>0,39</td><td>0,35</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>13</td><td>ОП</td><td>Б</td><td>Объем производственной партии, штуки</td></tr>
<tr><td>14</td><td>ЕН</td><td>М02 Б</td><td>Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала</td></tr>
<tr><td>15</td><td>КОИД</td><td>Б</td><td>Количество одновременно обрабатываемых заготовок при выполнении одной операции</td></tr>
<tr><td>16</td><td>КР</td><td>Б</td><td>Количество исполнителей, занятых при выполнении операции</td></tr>
<tr><td>17</td><td>УТ</td><td>Б</td><td>Код условий труда. Включает в себя цифру – условия труда:
1 – нормальные;
2 – тяжелые и вредные;
3 – особо тяжелые, особо вредные;
и букву, указывающую вид нормы времени:
Р – аналитически-расчетная;
И – аналитически-исследовательская;
Х – хронометражная;
О – опытно-статистическая.</td></tr>
<tr><td>18</td><td>Р</td><td>Б</td><td>Разряд работы, необходимый для выполнения операции. Код включает три цифры: первая – разряд работы по тарифно-квалификационному справочнику,
две следующие – код формы и системы оплаты труда:
10 – сдельная форма оплаты труда;
11 – сдельная система оплаты труда прямая;
12 – сдельная система оплаты труда премиальная;
13 – сдельная система оплаты труда прогрессивная;
20 – повременная форма оплаты труда;
21 – повременная система оплаты труда простая;
22 – повременная система оплаты труда премиальная</td></tr>
</table>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
19	*ПРОФ.*	*Б*	Код профессии согласно классификатору
20	*СМ*	*Б*	Код степени механизации труда. Указывается цифрой: 1 – наблюдение за работой автоматов; 2 – работа с помощью машин и автоматов; 3 – вручную при машинах и автоматах: 4 – вручную без машин и автоматов; 5 – вручную при наладке машин
21	*Код, наименование оборудования*	*Б*	Код оборудования. Включает в себя высшую (шесть первых цифр) и низшую (четыре цифры после точки) классификационные группировки
22	*Код, наименование операции*	*А*	Код операции согласно классификатору технологических операций
23	*Цех*	*А*	Номер цеха, в котором выполняется операция
24	*Уч.*	*А*	Номер участка
25	*РМ*	*А*	Номер рабочего места (В курсовом проекте позиции 23, 24, 25 заполняются условным кодом «ХХ»)
26	*Опер*	*А*	Номер операции в технологической последовательности изготовления, контроля и перемещения. Рекомендуемая нумерация операций: 000, 005, 010 и т. д.
27	*Код*	*М02*	Код материала. Графа не заполняется, ставится прочерк
28	*ЕВ*	*М02*	Код единицы величины - массы, длины, площади и т. п. детали или заготовки. Для массы, указанной в «кг» – код 166; в «г» – 163; в «т» – 168. Допускается вместо кода указывать единицы измерения величины

Окончание табл. 2

1	2	3	4
29	*МД*	*М02*	Масса детали по конструкторскому документу
30	*ЕН*	*М02, Б*	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала или норма времени, например, 1, 10, 100
31	$Н_{расх}$	*М02, К*	Норма расхода материала
32	*КИМ*	*М02*	Коэффициент использования материала
33	*Код заготовки*	*М02*	Код заготовки по классификатору. Допускается указывать вид заготовки (отливка, прокат, штамповка и т. д.)
34	–	*М01*	Наименование, сортамент, размер и марка материала, обозначение стандарта, технических условий. Запись выполняется на уровне одной строки с применением разделительного знака дроби «/», например лист БОН-2,5×1000×2500 ГОСТ 19903-74/Ш–IVВ ст. 3 ГОСТ 14637–79
35	*Профиль и размеры*	*М02*	Обозначение профиля и размера заготовок. Рекомендуется указывать толщину, ширину и длину, сторону квадрата или диаметр и длину, например, 20×50×300, диаметром 35. Профиль допускается не указывать
36	*КД*	*М02*	Количество деталей, изготавливаемых из одной заготовки
37	*МЗ*	*М02*	Масса заготовки

Примечание. Установлена пятизначная структура основного кода характеристики документации (ХХХХХ).

Первые две цифры – вид документации:

01 – комплект технологической документации;

10 – маршрутная карта;

20 – карта эскизов;

42 – ведомость оснастки;

44 – ведомость деталей к типовому (групповому) технологическому процессу (операции);

60 – операционная карта;

62 – карта наладки;

67 – карта кодирования информации.

Третья цифра – вид технологического процесса (операции) по организации:

0 – без указания;

1 – единичный процесс (операция);

2 – типовой процесс (операция);

3 – групповой процесс (операция).

Последние две цифры - вид технологического процесса по методу выполнения:

00 – без указания;

02,03 – технический контроль;

41,42 – обработка резанием;

50, 51 – термообработка.

21 – обработка давлением;

04 – перемещение

Пример. Маршрутная карта единичного процесса обработки резанием – 10141.XXXX. Последние четыре разряда (XXXX) – резерв дополнительного обозначения по отраслевому классификатору.

Наименование операции обработки резанием должно отражать применяемый вид оборудования и записываться именем прилагательным в именительном падеже в соответствии с табл.3.

Таблица 3

Группы операции обработки резанием

Наименование группы операций	Применяемое оборудование (станки)
1	2
Автоматно-линейная	Автоматические линии
Агрегатная	Агрегатные
Долбёжная	Долбёжные
Зубообрабатывающая	Зубофрезерные, зубострогальные, зубошлифовальные и др.

Продолжение табл. 3

1	2
Комбинированная	Сверлильно-фрезерные и др.
Отделочная	Хонинговальные, суперфинишные, доводочные, полировальные
Отрезная	Отрезные
Программная	Станки с программным управлением
Протяжная	Протяжные
Расточная	Расточные
Резьбонарезная	Гайконарезные, резьбофрезерные и др.
Сверлильная	Сверлильные
Строгальная	Строгальные
Токарная	Токарные, токарно-винторезные, многорезцовые и др.
Фрезерная	Фрезерные (кроме зубо-резьбофрезерных)
Шлифовальная	Шлифовальные (кроме зубошлифовальных)

2.ОПЕРАЦИОННАЯ КАРТА

Структура построения операционной карты (ОК) идентична маршрутной. Запись информации выполняется построчно с привязкой к соответствующим служебным символам (разд. 1).

Операционная карта механической обработки по ГОСТ 3.1404–74 форма 1 составляется на конкретную операцию и заполняется в соответствии указаниями табл. П2.2, П3.1, П3.2 и рис. П2.2.

Указание единиц величины следует выполнять в заголовках или подзаголовках соответствующих граф. Допускается указывать единицы величины параметров технологических режимов после их числовых значений, например, 40 мм; 0,2 мм /об; 36 мм /мин.

Указание данных по технологическим режимам следует выполнять после записи состава применяемой технологической оснастки.

При указании данных по технологической оснастке информацию следует записывать в следующей последовательности:

1) приспособления;

2) вспомогательный инструмент;

3) режущий инструмент;

4) средства измерения.

В целях разделения информации по группам технологической оснастки и поиска необходимой информации допускается перед указанием состава применять условное обозначение видов: приспособлений – «*ПР*»; вспомогательного инструмента – «*ВИ*»; режущего инструмента – «*РИ*»; средств измерений – «*СИ*». Например, ***СИ. АВВХХХ. Пробка 24Н7 - пр.***

При описании содержания перехода необходимо указывать данные по $T_О$ и $T_В$. Это следует выполнять на уровне строки, где заканчивается описание содержания перехода под служебным символом «*О*».

Большинство граф операционной карты соответствует аналогичным графам маршрутной карты. Информацию по дополнительным графам следует вносить в соответствии с рис. 2 и табл. 4.

Запись содержания перехода следует выполнять в соответствии с рекомендациями табл. П3.1 и П3.2. Полную запись делают при необходимости перечисления всех выдерживаемых размеров. Сокращенная используется при ссылке на условное обозначение

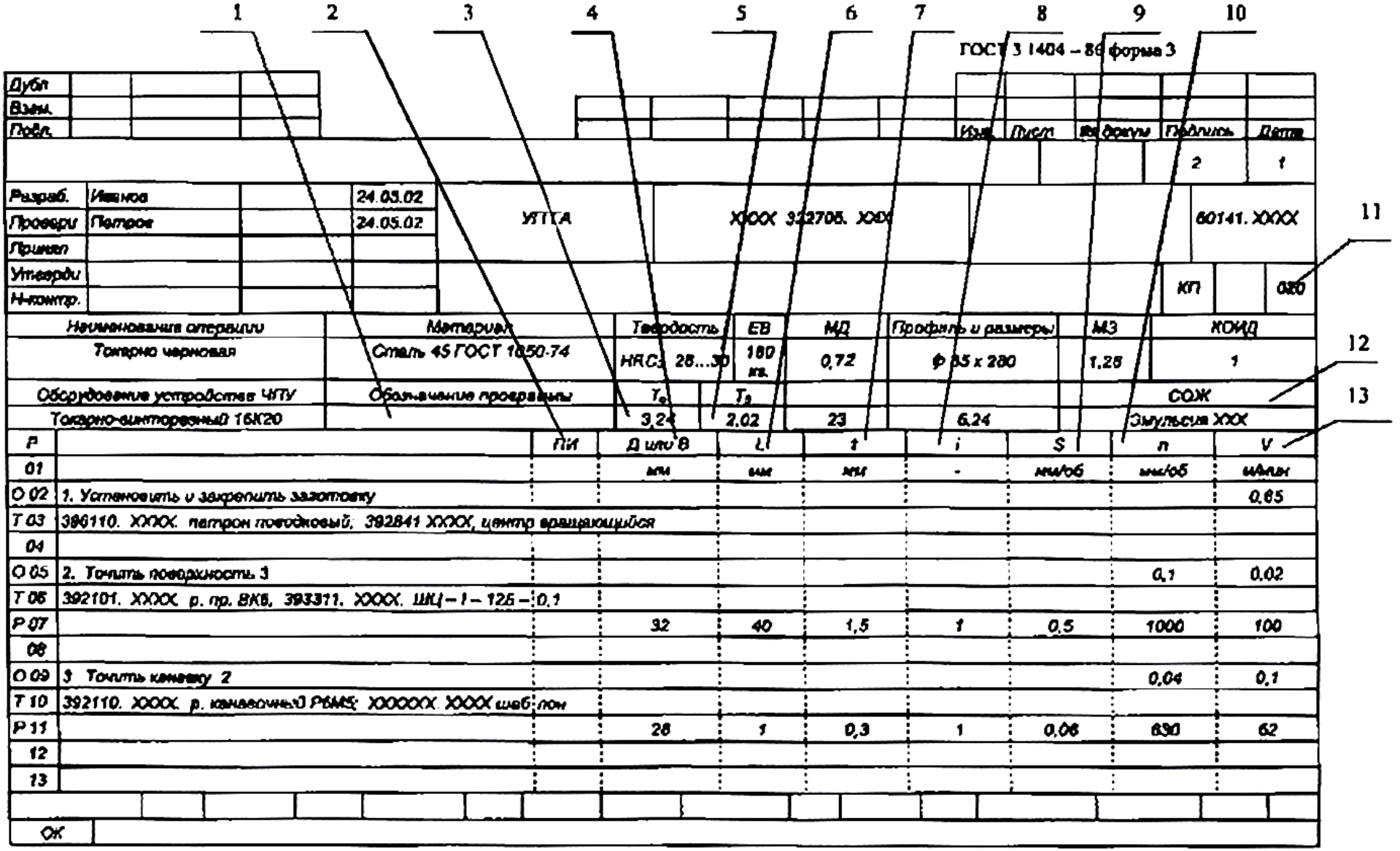


Рис. 2. Пример заполнения операционной карты

конструктивного элемента обрабатываемого изделия. Данная запись выполняется ***при достаточной графической*** информации. Для промежуточных переходов, не имеющих графических иллюстраций, в содержании следует указывать исполнительные размеры с их предельными отклонениями и при необходимости шероховатость обработанной поверхности и другие технические требования. Например, «Точить поверхность 3, выдерживая $d = 40_{-0,34}$ и $l = 100 \pm 0,4$».

Таблица 4

Информация по дополнительным графам операционной карты

Номер пункта поиска	Наименование (условное обозначение графы)	Содержание информации
1	–	Графы для записи содержания перехода, информации по оснастке, режущему и измерительному инструменту
2	*ПИ*	Номер позиции инструментальной наладки. Графа заполняется для станков с ЧПУ
3	$T_О$	Норма основного времени на операцию, мин
4	*Д* или *В*	Расчетный размер обрабатываемого диаметра (ширины) детали. Данные по "*Д*" или "*В*" указываются с учетом величины врезания и перебега
5	$T_В$	Норма вспомогательного времени на операцию, мин
6	L	Расчетный размер длины рабочего хода с учетом величины врезания и перебега
7	t	Глубина резания
8	i	Число рабочих ходов
9	S	Подача
10	n	Частота вращения шпинделя
11	V	Скорость резания
12	–	Номер операции
13	*СОЖ*	Информация по применяемой смазочно-охлаждающей жидкости

Переходы (основные и вспомогательные) нумеруются арабскими цифрами 1, 2, 3 ***... (Для карт по ГОСТ 3.1404-74 форма 1 и 1а вспомогательные переходы обозначаются прописными буквами РУССКОГО алфавита: А, Б, В, Г и т. д. Например, « А Установить и закрепить заготовку »). Прием «Снять деталь » указывается в конце операции.***

В общем случае в содержание перехода включается:

1) ключевое слово, характеризующее метод обработки, выраженное глаголом в неопределенной форме (табл. 5);

2) наименование (существительное в винительном падеже) обрабатываемой поверхности, конструктивных элементов или предметов производства, например, «отверстие», «фаску», «канавку», «заготовку» и т. п.

3) информация о размерах обработки резанием или их условных обозначений, приведенных на операционных эскизах и указанных там арабскими цифрами в окружности диаметром 6 ... 8 мм (табл. П1.1 и П1.2);

4) дополнительная информация, характеризующая количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки, например, «предварительно», «последовательно», «по копиру», «начерно», «начисто».

Основные надписи операционной карты (ГОСТ 3.1404-74 форма 1 и 1а) следует выполнять в соответствии с указанием табл. П3.2 и рис. П2.2.

Параметры шероховатости обрабатываемой поверхности указываются только обозначениями на операционном эскизе. Допуска-

ется указывать в тексте содержание операции информацию о параметре шероховатости предварительно обрабатываемых поверхностей (промежуточных переходов), если это нельзя указать на операционном эскизе, например, «фрезеровать предварительно поверхность *1*, выдерживая высоту 70 ± 0,5, *Rz* = 50».

3.КАРТА ЭСКИЗОВ

Карта эскизов – основной графический документ, дающий наглядную информацию о выполняемой технологической операции.

Эскизы следует выполнять с соблюдением масштаба или без соблюдения масштаба, но с примерным соблюдением пропорций. При разработке технологической операции необходимо помнить, что сначала разрабатывается и полностью оформляется эскиз на карте эскизов. На рис. 3 **(и рис. П2.3)** представлены примеры оформления карты эскизов. Нумерация обрабатываемых поверхностей (табл. П3.2), проставляемая в кружочках, начинается с цифры 1. Последовательность простановки номеров в кружочках рекомендуется вести по ходу часовой стрелки. Нумерация относится только ***к конкретной рассматриваемой операции*** (установу). На последующих операциях (установах) нумерация опять начинается с цифры 1. При этом, естественно, одна и та же поверхность заготовки на разных операциях (установах) может иметь различный номер.

На карте эскизов деталь изображается в таком виде, как она обрабатывается на станке. На карте эскизов указывают те

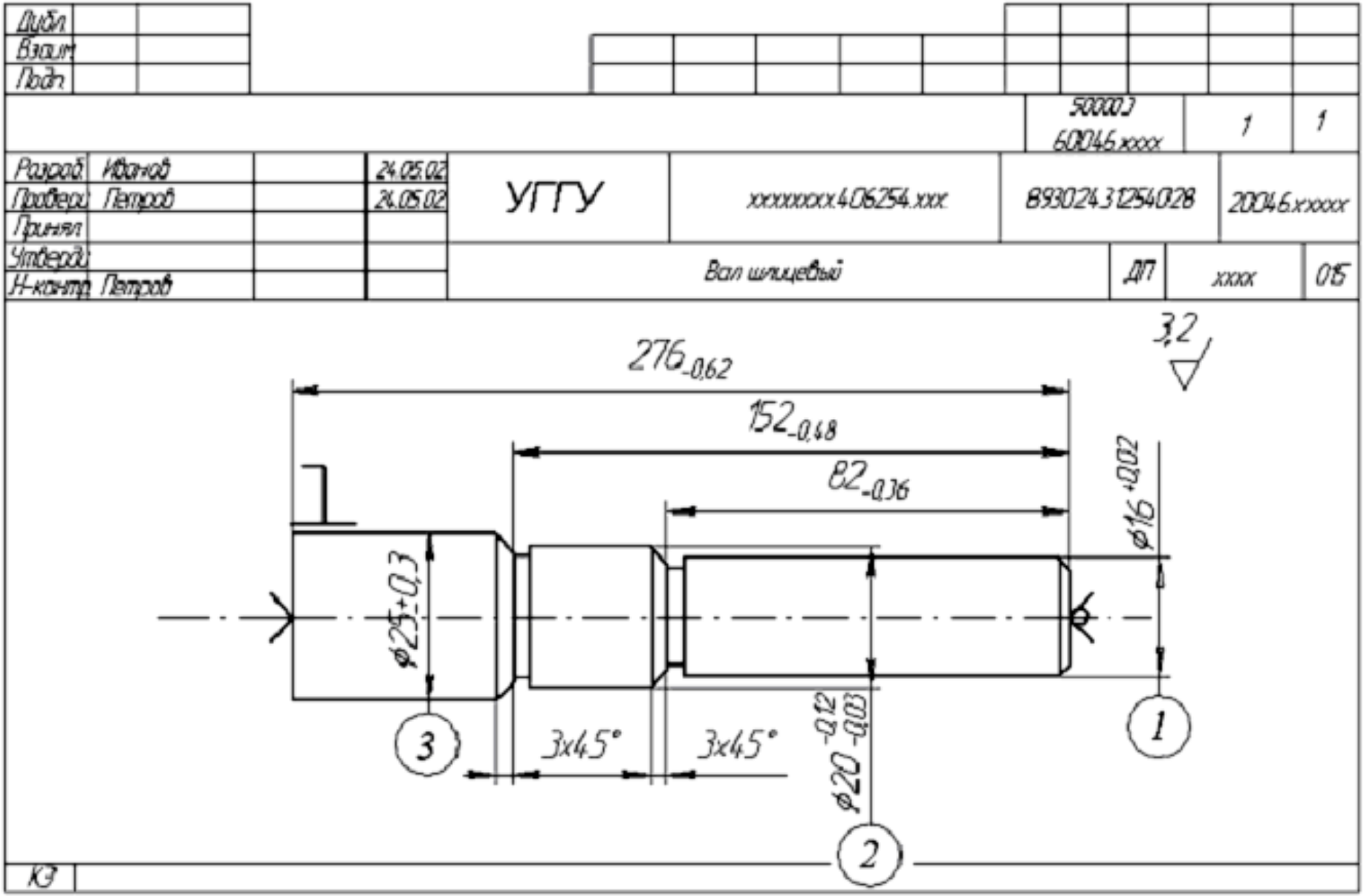


Рис.3 Пример заполнения карты эскизов

размеры, которые выполняются на данной операции (!). Размеры, допуски и высота шероховатости указываются такими, какие будут получены после выполнения рассматриваемой операции (!).

Обрабатываемые поверхности выделяются ***цветом*** или ***жирными*** линиями и обозначаются цифрами в кружочках. При этом возможны два варианта см. табл. П3.1.

При заполнении основной надписи в карте эскизов (в верхней части) необходимо помнить, что средняя графа из трех граф, обведенных жирной линией (пункт 3 табл. 2), не заполняется.

Основные надписи на карте эскизов (ГОСТ 3.1103–74 форма 5) следует выполнять в соответствии с указанием табл. П3.3 – П3.6 и рис. П2.3.

Для большей наглядности в курсовых и дипломных проектах некоторые эскизы, по согласованию с руководителем, оформляются на листе формата А1 в полуконструктивном виде (эскизы наладок). При этом на одном листе формата А1 можно разместить от двух до четырех эскизов. На эскизе наладки показывается все то же, что и на карте эскизов, и дополнительная информация:

– теоретическая схема базирования заготовки выполняется по ГОСТ 21495–76 (Базирование и базы в машиностроении) либо по [3]; при этом опорные точки рекомендуется выполнить цветным карандашом (красным, зеленым), чтобы отличить их от условных знаков опор, зажимов приспособления;

– режущий инструмент;

– траектория движения режущего инструмента для станков с

ЧПУ (по мере необходимости);

– таблица с режимами резания;

– некоторые элементы конструкции станочного приспособления (по мере необходимости). Над каждым эскизом наладки указывается наименование операции, ее номер согласно маршрутной карте и модель технологического оборудования (станка).

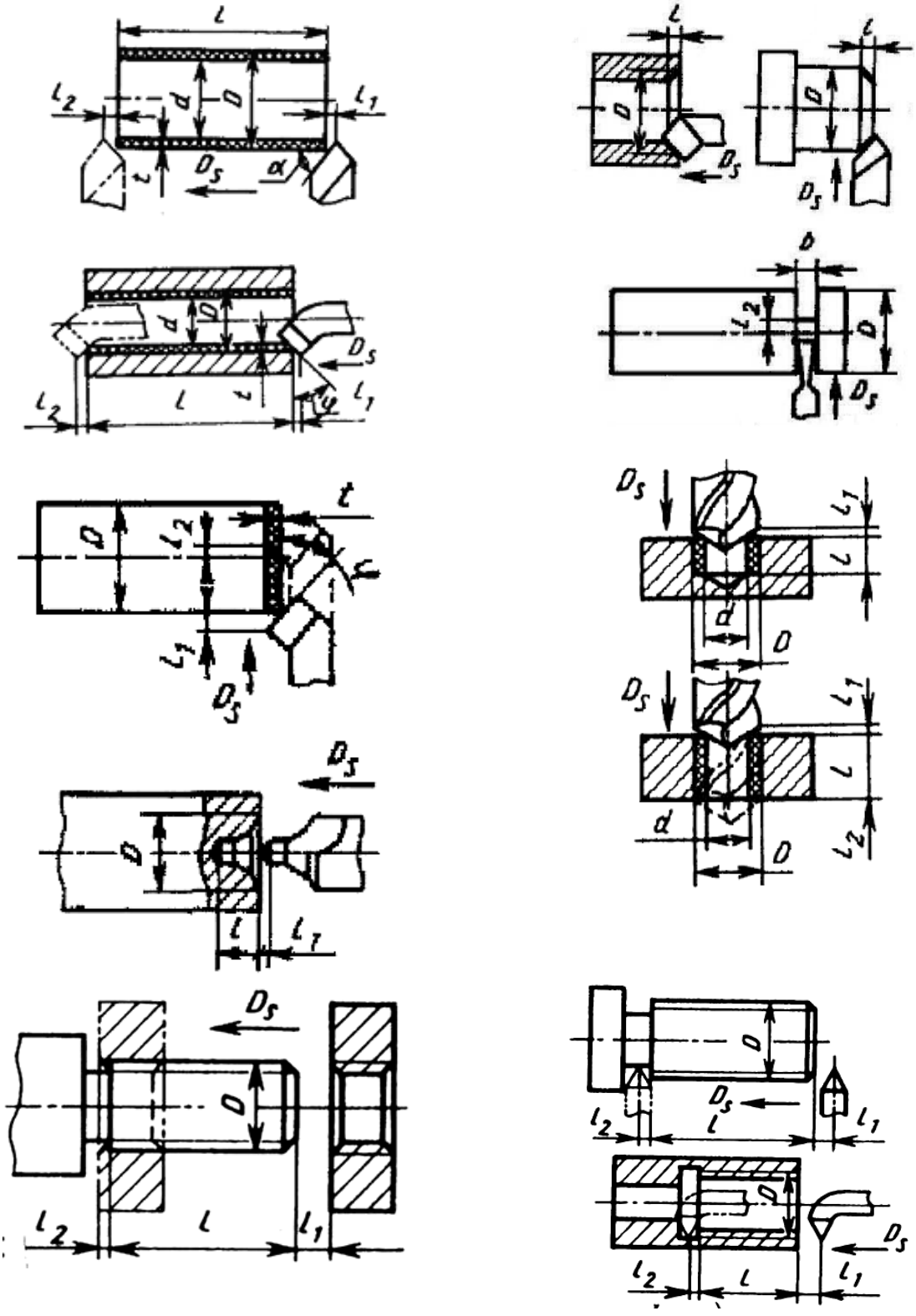
Таблица 5

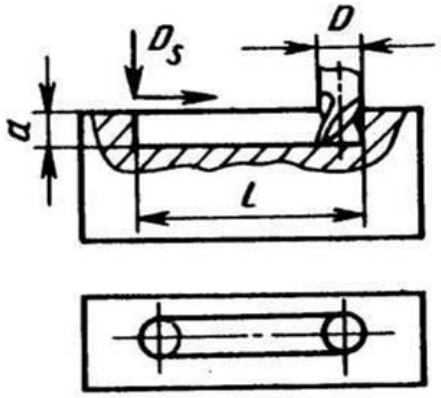
Ключевые слова технологических переходов

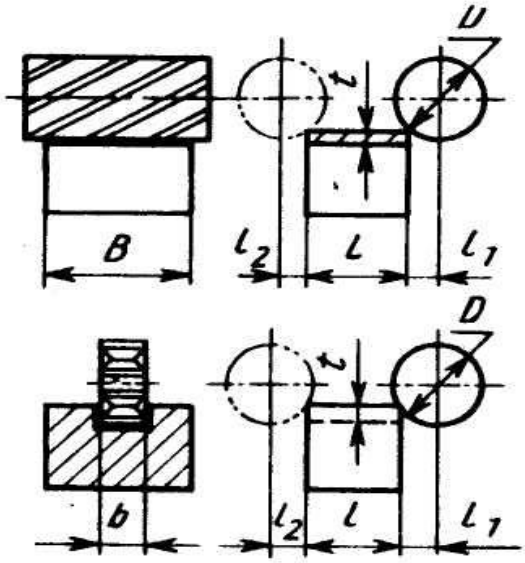
Вид механической обработки	Ключевое слово при обработке резанием
Точение	Точить
Растачивание	Расточить
Сверление	Сверлить
Рассверливание	Рассверлить
Развертывание	Развернуть
Протягивание	Протянуть
Долбление	Долбить
Зенкерование	Зенкеровать
Зенкование	Зенковать
Фрезерование	Фрезеровать
Отрезание	Отрезать
Подрезание	Подрезать
Полирование	Полировать
Шлифование	Шлифовать
Центрование	Центровать
Шевингование	Шевинговать
Переустановка и закрепление	Переустановить и закрепить
Установка и закрепление	Установить и закрепить
Суперфиниш	Суперфинишировать
Снятие	Снять
Переустановка	Переустановить
Закрепление	Закрепить

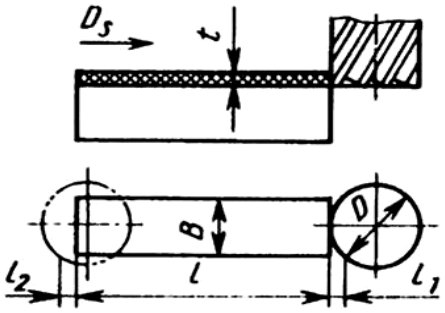
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

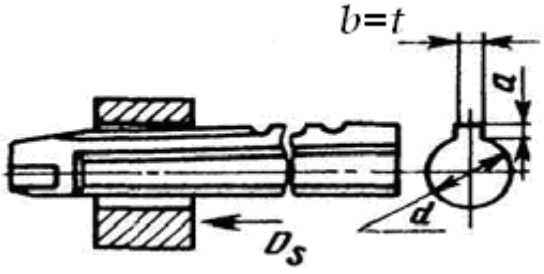
Глубина резания t для некоторых методов обработки

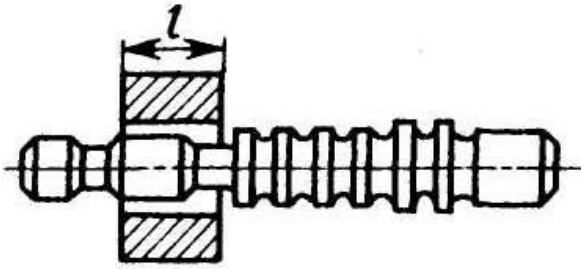


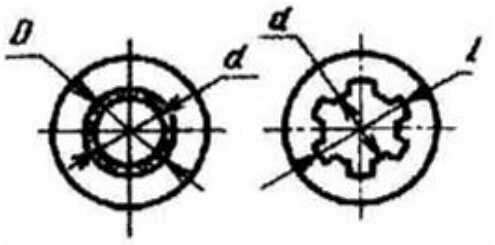

D
D_S
a
l

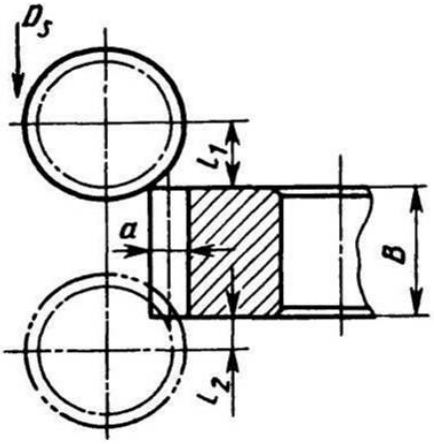

U
t
B
l_2
l
l_1
D
t
b
l_2
l
l_1

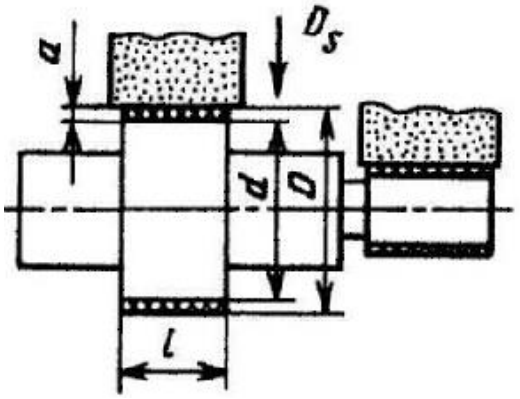

D_S
t
B
D
l_2
l
l_1

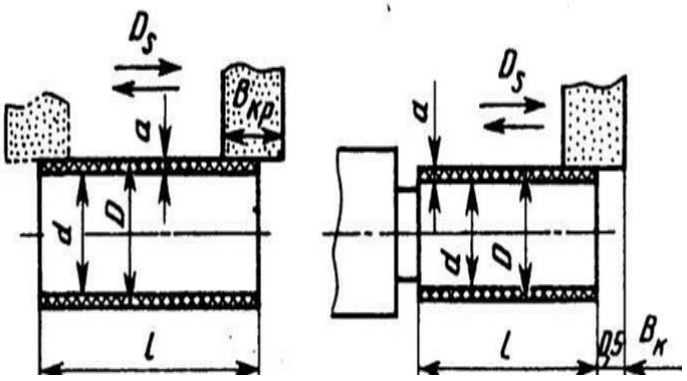

b=t
a
d
D_S

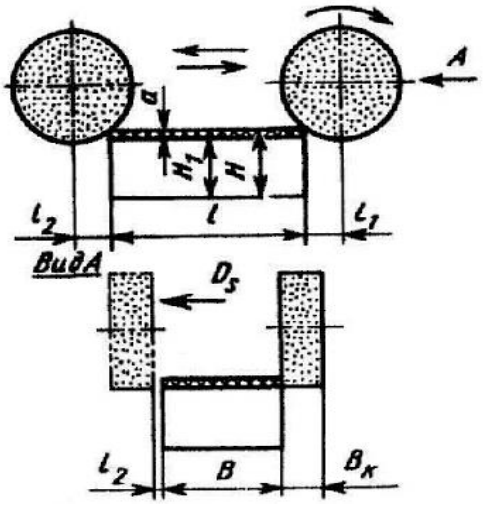

l

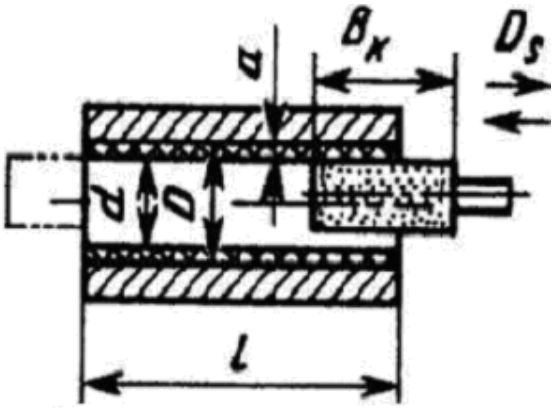

D
d
d
l

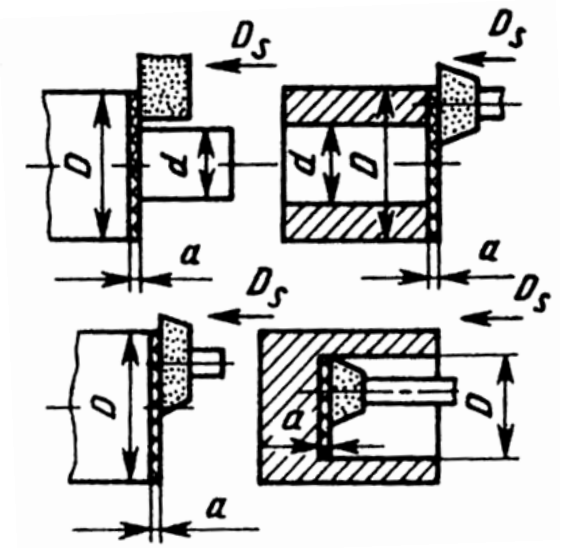

D_S
l_1
a
B
l_2

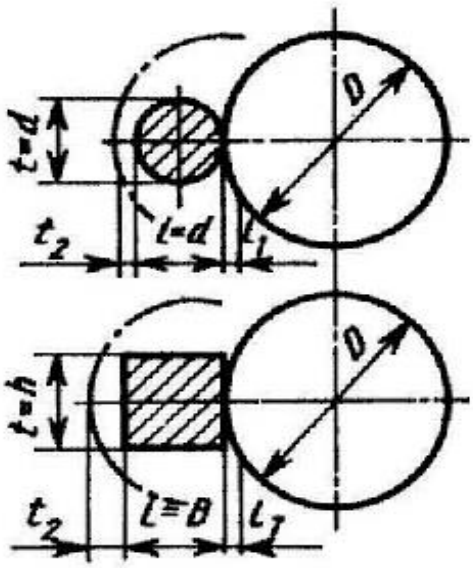

a
D_S
d
D
l

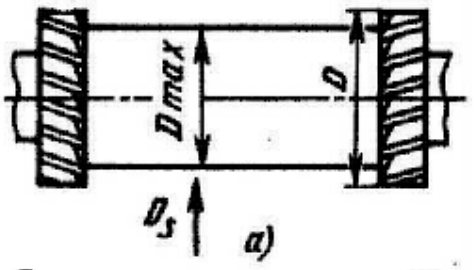

D_S
$B_{кр}$
a
d
D
l
D_S
a
d
D
l
0,5
$B_к$

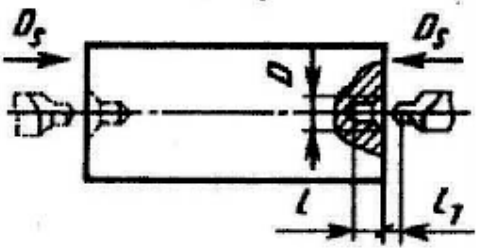

A
a
H_1
H
l_2
l
l_1
Вид A
D_S
l_2
B
$B_к$


a
$B_к$
D_S
d
D
l


D_S
D_S
D
d
d
D
a
a
D_S
D_S
D
a
D
a


D
t=d
t_2
l=d
l_1
D
t=h
t_2
l=B
l_1


D
Dmax
D_S
a)


D_S
D_S
D
l
l_1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Оформление карт по ГОСТ 3.1404 - 74

Таблица П2.1

Сведения, вносимые в отдельные графы и строки маршрутной карты

Номер графы	Содержание графы
1	2
1	Наименование организации разработчика технологического процесса (кафедра ЭГО)
2	Обозначение детали по конструкторскому документу
3	Наименование детали по конструкторскому документу, на которую составлен технологический документ
4	Обозначение технологического документа (ГОСТ 3.1201–74)*
5	Литера технологического документа *
6	Обозначение технологического процесса – не заполнять
7	Наименование и марка материала
8	Не заполнять
9	Не заполнять
10	Масса детали по конструкторскому документу
11	Не заполнять
12	Профиль и размер заготовки
13	Количество деталей, изготовляемых из одной заготовки *
14	Масса заготовки
15	Количество деталей, на которое установлена норма расхода материала (например, 1, 10, 100 … шт) *
16	Норма расхода материала *)
17	Коэффициент использования материала (отношение массы детали по конструкторскому чертежу к массе заготовки) *
18	Номер цеха *
19	Номер участка *
20	Номер операции
21	Заполнять наименование операции без её содержания
22	Обозначение документа, содержащего описание операции *
23	КОД, наименование (модель) и инвентарный номер технологического оборудования *
24	Данные записывать в графе дробью, в числителе указывается коэффициент штучного времени, при многостаночном обслуживании, в знаменателе – КОД профессии по классификатору *

Окончание табл.П2.1

1	2
25	Данные записываются дробью. В числителе количество рабочих, занятых в операции, в знаменателе – разряд работы. Заполнять только разряд работы *
26	Записывать дробью. В числителе количество одновременно обрабатываемых деталей при выполнении операции. В знаменателе количество деталей, на которое установлена норма времени (1, 10, 100 шт. …) *
27	Записывается дробью. В числителе КОД тарифной сетки, в знаменателе КОД вида нормы *
28	Объём партии в штуках
29	Записывается дробью. Числитель – норма подготовительно-заключительного времени на партию. Знаменатель – норма штучного времени на операцию

Примечание
* – не заполнять

Таблица П2.2

Сведения, вносимые в отдельные графы и строки операционной карты

Номер графы	Содержание графы
1	2
1	Наименование организации разработчика технологического процесса (кафедра ЭГО)
2	Обозначение детали по конструкторскому документу
3	Наименование детали по конструкторскому документу
4	Обозначение технологического процесса *
5	Обозначение технологического документа *
6	Номер цеха *
7	Номер участка *
8	Номер операции по маршрутной карте
9	Наименование операции
10	Наименование и марка материала
11	Масса детали по конструкторскому документу
12	Профиль, размеры заготовки для данной операции
13	Твердость заготовки, поступившей в обработку
14	Масса заготовки для данной операции
15	Количество деталей, одновременно обрабатываемых на станке

Окончание табл.П2.2

1	2
16	Наименование, модель, инвентарный номер технологического оборудования
17	КОД * и наименование приспособления
18	Наименование охлаждающей среды
19	Номер перехода
20	Содержание перехода
21, 22 23	КОД *) и наименование вспомогательного, режущего и измерительного элемента
24	Диаметр или ширина детали
25	Длина рабочего хода (расчетная длина)
26 – 30	Режим резания
31	Норма основного времени на переход
32	Норма вспомогательного времени на переход
33	Порядковый номер листа
34	Общее количество листов

Таблица П2.3

Заполнение карты эскизов

Номер графы	Содержание графы
1	Обозначение детали по конструкторскому документу
2	Наименование детали по конструкторскому документу
3	Обозначение технологического процесса ГОСТ 3.1201–74 – не заполнять
4	Обозначение технологического документа по ГОСТ 3.1201–74 – не заполнять
5	Номер операции

ГОСТ 3.1105 – 74 форма 3

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

6

1	Маршрутная карта	2	4
Кафедра ЭГО		3	Литера 5

Материал		Код единицы величины	Масса детали	Заготовка				Единица нормирования	Норма расхода	Коэфф. использ. матер.
Наименование, марка	Код			Код и вид	Профиль и размеры	Кол. дет.	Масса			
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Номер			Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование (код, наименование, инвентарный номер)	Коэф. штучн. врем.	Кол-во раб.	Кол. одн. обрабат. деталей	Код тар. сетки	Объем производственный, партии	$T_{пз}$
цеха	Участка	операции				Код профессии	Разряд работы	Единица нормирования	Код вида нормы		$T_{шт}$
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

											Разработал				Лист
											Проверил				
											Нормиров.				Листов
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Нормоконтр.				

Рис. П2.1. Обозначение граф маршрутной карты

ГОСТ 3.1404 – 74 форма 1

Инв.№ подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв.№ дубл.	Подпись и дата		4

1 Кафедра ЭГО	**Операционная карта механической обработки**	2	5
		3	

Номер цеха	Номер участка	Номер операции	**Наименование операции**	Наименование и марка материала	Масса детали	Заготовка		
						Профиль и размеры	Твердость	Масса
6	7	8	9	10	11	12	13	14

Количеств. одноврем. обр. дет	Оборудование (наименование, модель)	Приспособление (код и наименование)	17		охлаждение
15	16				18

Номер пере-	Содержание перехода	Инструмент (код и наименование)			расч. размеры		t	i	Режим обработки			T_O	T_B
		Вспомогательный	Режущий	Измерительный	диаметр, ширина	Длина			S	n	V		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

												Проверил				Лист
												разработал				33
												Нормиров.				Листов
																34
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№докум	Подпись	Дата		Нормоконтр				

Рис. П2.2. Обозначение граф операционной карты

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

ГОСТ 3.1105 – 74 форма 5

		3
	1	4
Карта эскизов	2	
		Номер операции
		5

										Разработал				Лист
										Проверил				
														Листов
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Нормоконтр				

Рис. П2.3. Обозначение граф карты эскизов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Оформление карты эскизов и операционной (ГОСТ 3.1702 – 79)

Таблица П3.1

Примеры полной и сокращенной записи содержания переходов обработки резанием

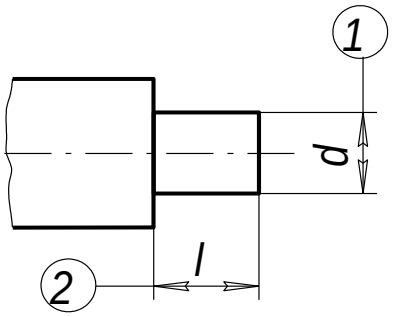
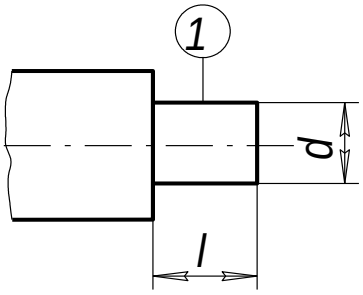
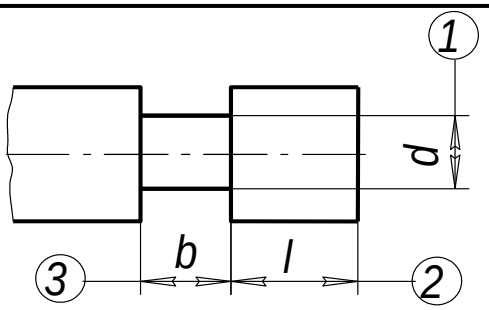
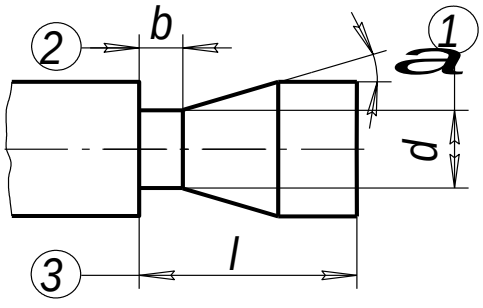
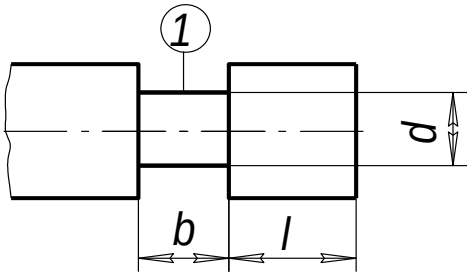
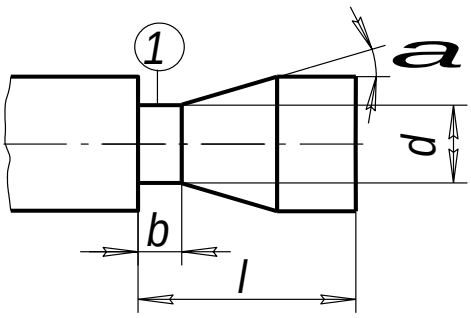
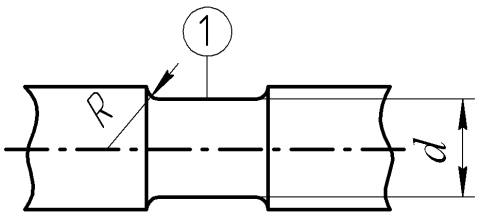
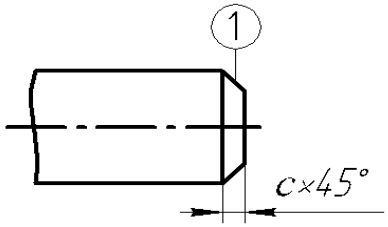
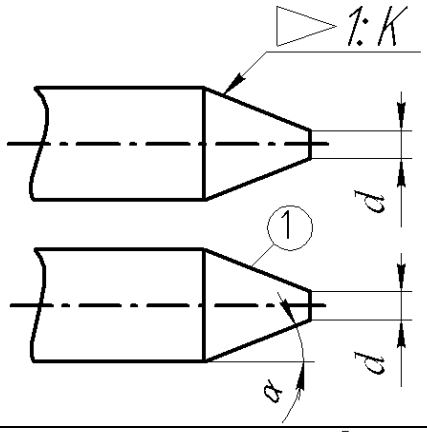
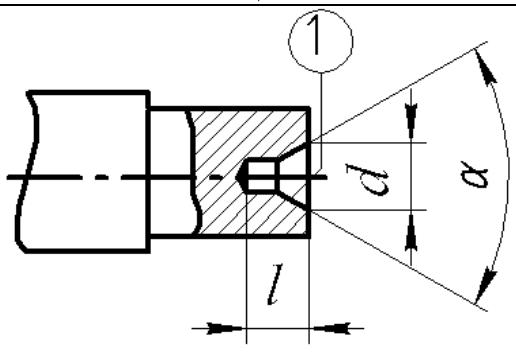
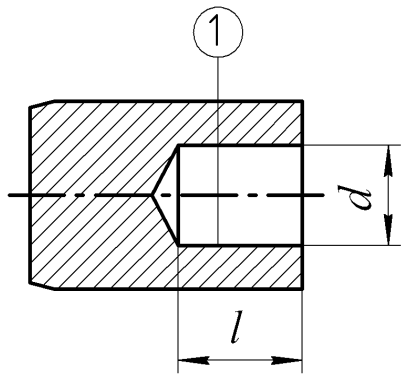
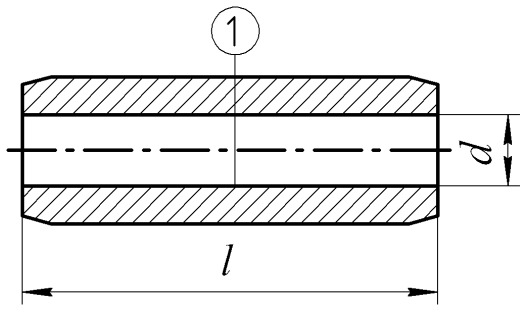
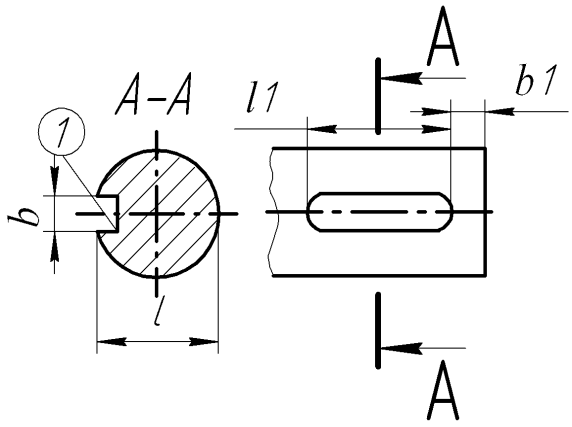
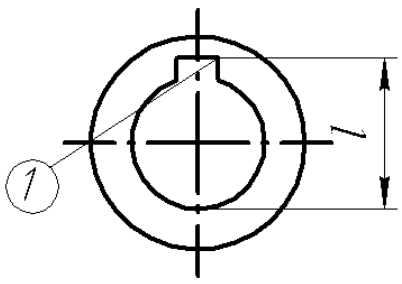
Эскиз и запись переходов	Эскиз и сокращенная запись переходов
1	2
 Точить (шлифовать, притереть, полировать и т) п.поверхность выдерживая размеры 1 и 2	 Точить (шлифовать,притереть, полировать и т. п.) поверхность 1
  Точить (шлифовать, довести, полировать и т) канавку, выдерживая размеры 1-3 и угол a	  Точить (шлифовать, довести, полировать и т) канавку 1

Таблица П3.2

Пример сокращенной записи переходов обработки резанием

Эскиз	Запись перехода сокращенная
1	2
	Точить (шлифовать и т.п.) выточку 1
	Точить (шлифовать, полировать и т.п.) фаску, выдерживая размер 1
	Точить (шлифовать, притереть и т.п.) конус, выдерживая размер 1и 2
	Центрировать торец 1

Продолжение табл. П3.2

1	2
	Сверлить (зенкеровать, развернуть и т.п.) отверстие 1
	Сверлить (рассверлить, зенкеровать и т.п.) отверстие 1
	Фрезеровать шпоночный паз 1
	Долбить (протянуть) шпоночный паз 1

Продолжение табл. П3.2

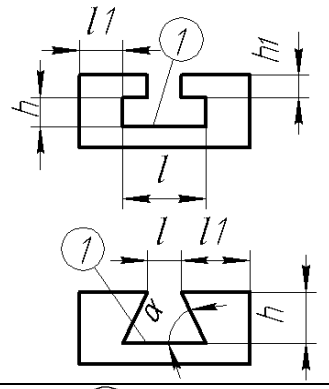
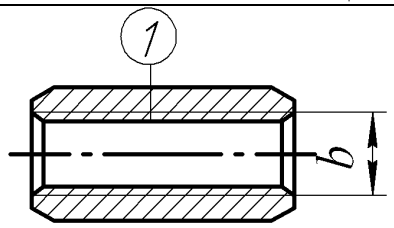
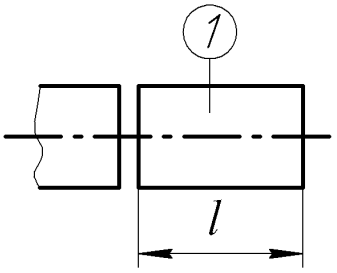
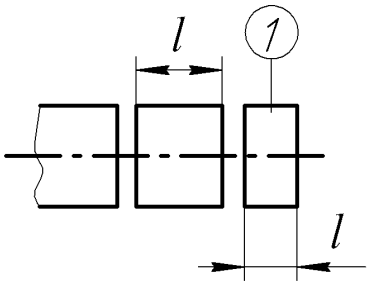
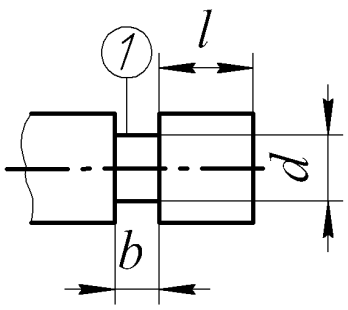
1	2
	Фрезеровать (протянуть) паз 1
	Нарезать (шлифовать, довести и т.п.) резьбу 1
	Отрезать деталь (заготовку) 1
	Отрезать 2 заготовку 1
	Врезаться в поверхность 1 (надрезать деталь по поверхности 1)

Таблица П3.3

Обозначение опор

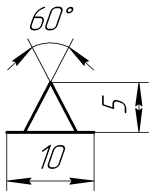
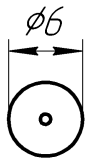
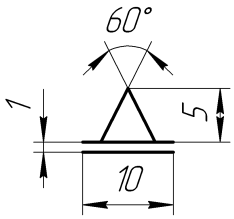
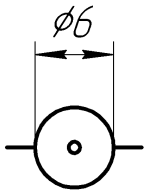
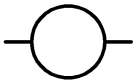
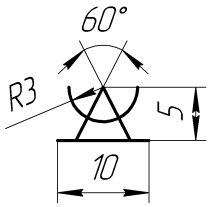
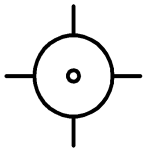
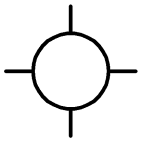
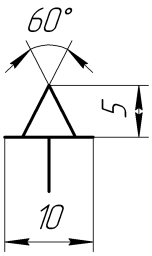
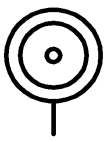
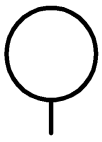
Наименование опоры	Обозначение опоры на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
1. Неподвижная			
2. Подвижная			
3. Плавающая			
4. Регулируемая			

Таблица П3.4

Обозначение зажимов

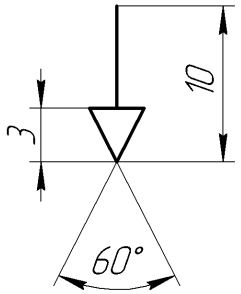
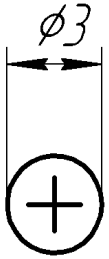
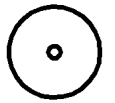
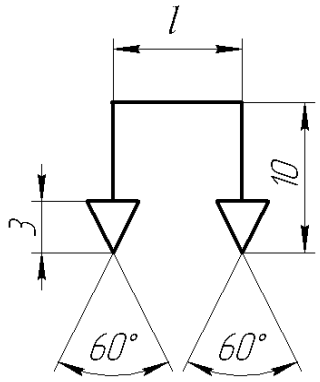
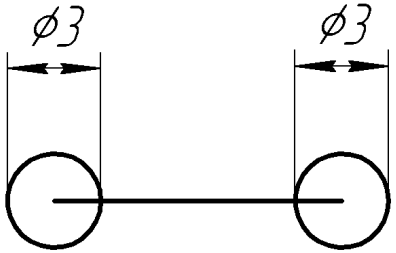
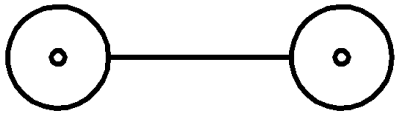
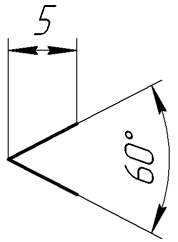
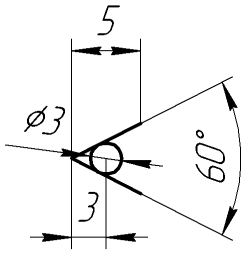
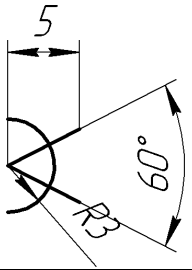
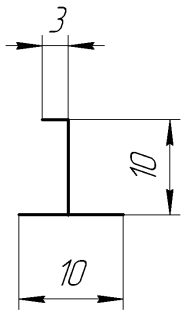
Наименование зажима	Обозначение зажима на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
1.Одиночный			
2.Двойной			

Таблица П3.5

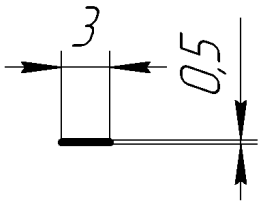
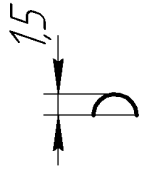
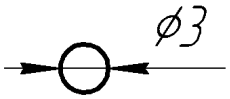
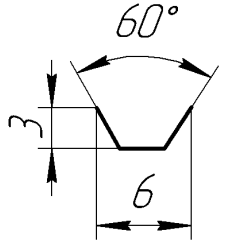
Обозначение установочных и форм рабочих поверхностей устройств

Наименование установочного устройства	Обозначение установочного устройства на видах		
	спереди, сзади, снизу	слева	справа
1	2	3	4
1. Центр неподвижный		Без обозначения	Без обозначения
2. Центр вращающийся		То же	То же
3. Центр плавающий		То же	То же

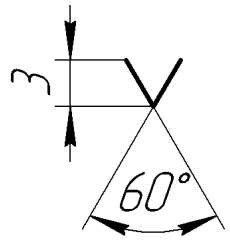
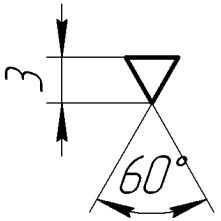
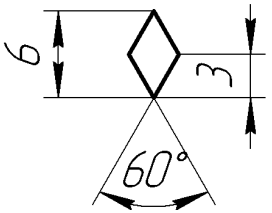
Продолжение табл. П3.5

1	2	3	4
4. Оправка цилиндрическая		Без обозначения	Без обозначения
5. Оправка шариковая		Без обозначения	Без обозначения
6. Патрон поводковый		Без обозначения	Без обозначения

Продолжение табл. П3.5

Наименование формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах
1	2
1. Плоская	
2. Сферическая	
3. Цилиндрическая (шариковая)	
4. Призматическая	

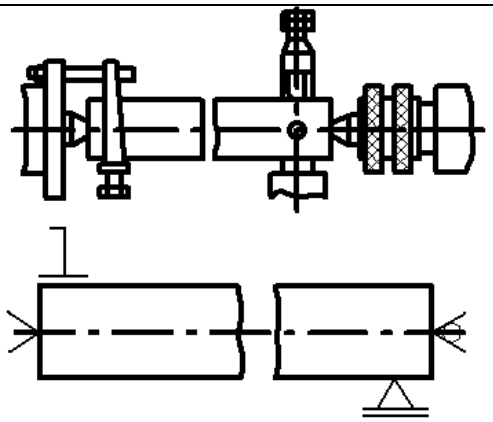
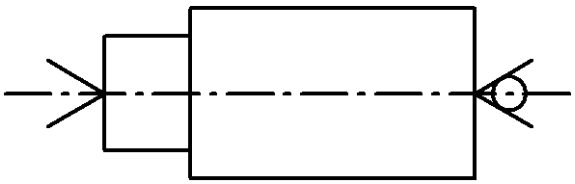
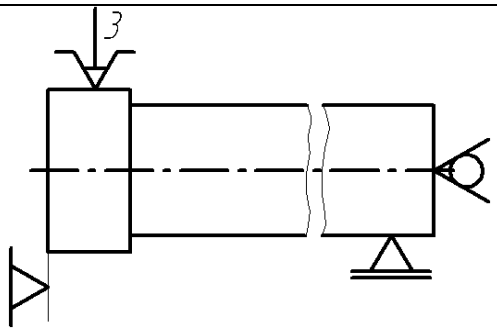
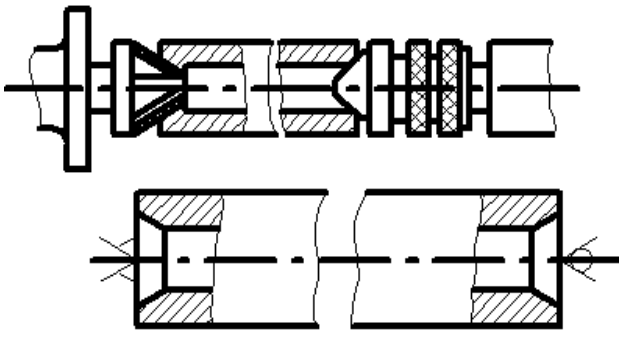
Окончание табл. П3.5

1	2
5. Коническая	
6. Трехгранная	
7. Ромбическая	

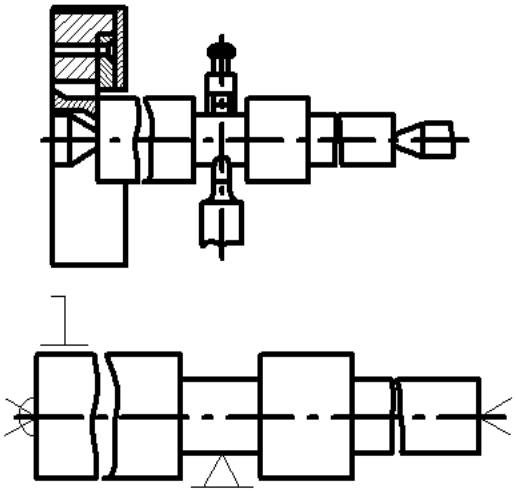
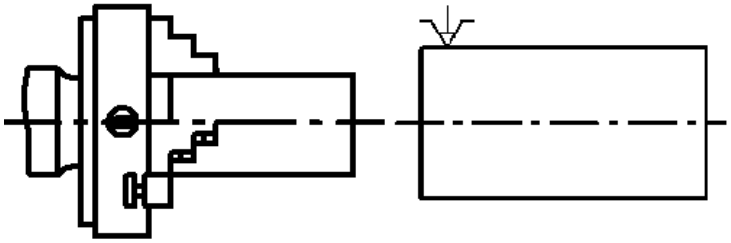
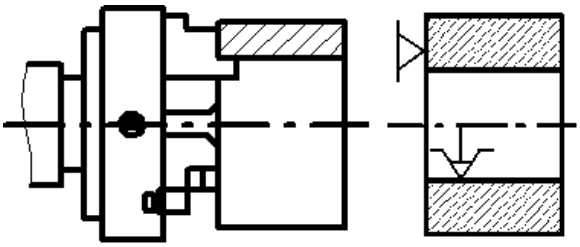
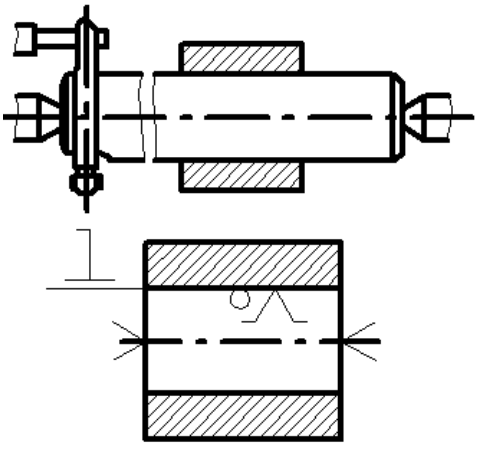
Примечание. Указание прочих форм рабочей поверхности опор, зажимов и установленных устройств следует выполнять в соответствии с требованиями, установленными отраслевыми НТД

Таблица П3.6

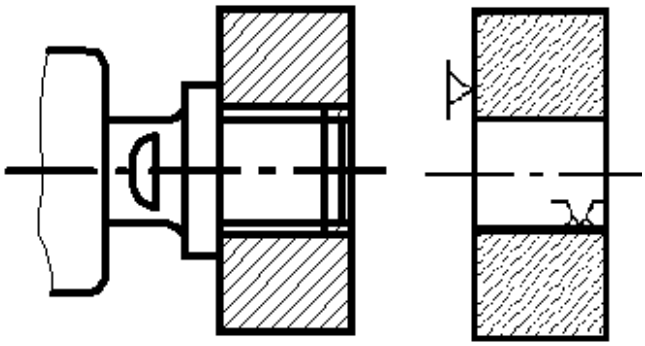
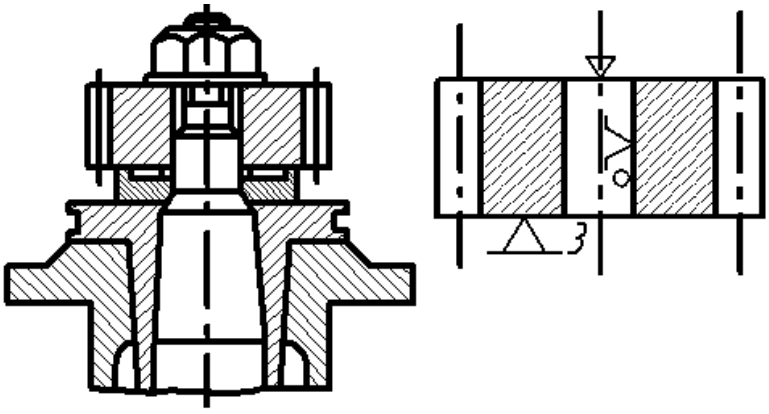
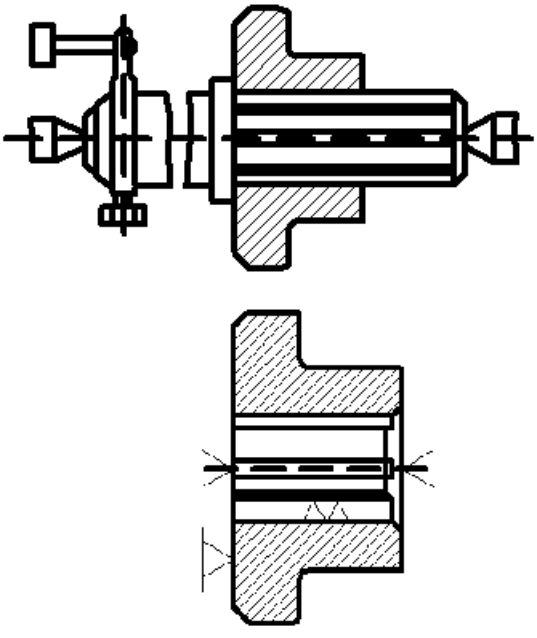
Примеры схем установки изделий

Описание способа установки	Схема установки и обозначения
1	2
1. В центрах с поводком с вращающимся центром и подвижным люнетом	
2. В поводковом патроне с подвижным вращающимся центром	
3. В трехкулачковом патроне с механическим устройством зажима, с упором в торец, с подвижным вращающимся центром и с креплением в подвижном люнете	
4.В центрах с рифленым и вращающимся центром	

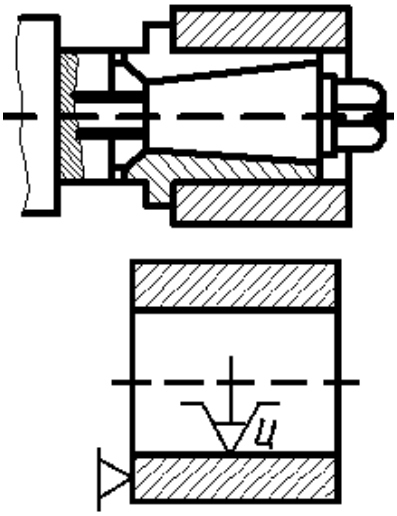
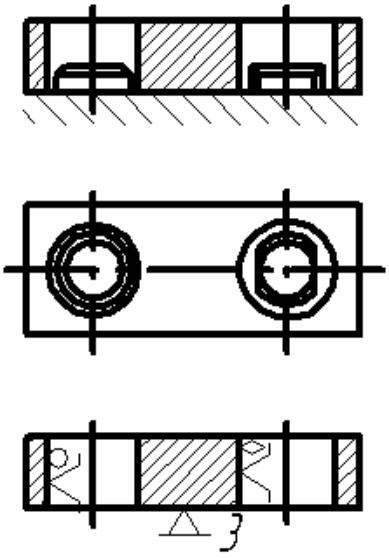
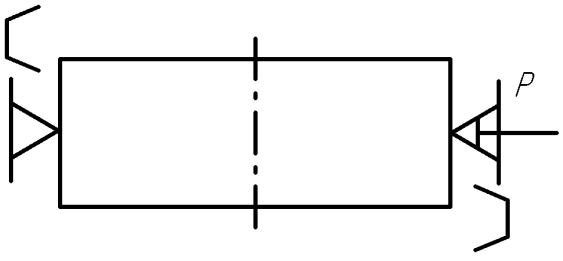
Продолжение табл. П3.6

1	2
5. В центрах с плавающим центром в поводковом патроне и неподвижным люнетом	
6. В трехкулачковом самоцентрирующем патроне с базированием по наружному диаметру без упора в торец	
7. В трехкулачковом самоцентрирующем патроне в разжим с базированием по торцу	
8. На жесткой центровой конусной или цилиндрической оправке с натягом в центрах с базированием по отверстию	

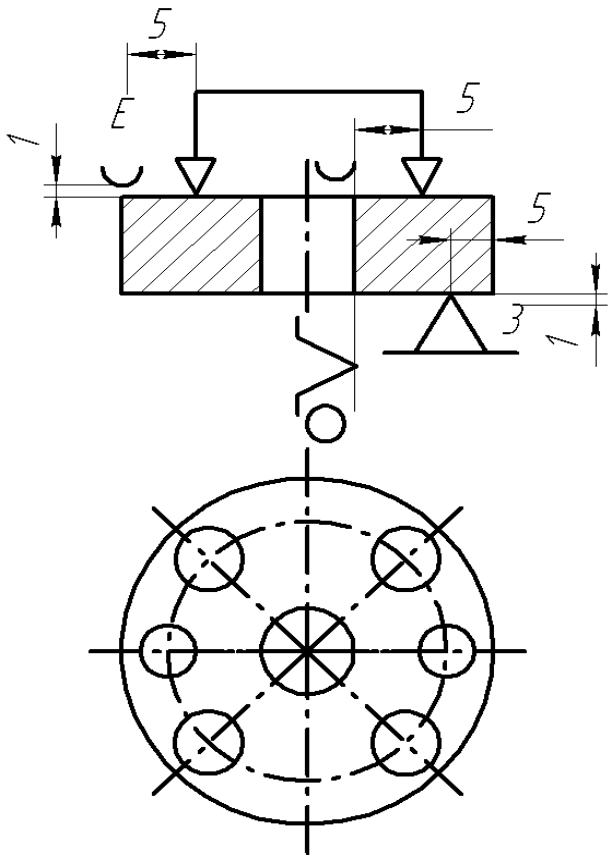
Продолжение табл. П3.6

1	2
9. На резьбовой консольной оправке с базированием по резьбе	
10. На жесткой оправке с креплением по торцу	
11. На шлицевой оправке в центрах с базированием по отверстию	

Продолжение табл. П3.6

1	2
12. На разжимной консольной оправке с базированием по отверстию	
13. На плоскость, круглый и срезанный пальцы с вертикальными осями	
14. В тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом	

Окончание табл. П3.6

1	2
15. В кондукторе с центрированием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры и с применением электрического устройства двойного зажима, имеющего сферические рабочие поверхности	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Примеры оформления технологических карт по ГОСТ 3.1404–74

ГОСТ 3.1105 – 74 форма 3

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Кафедра ЭГО	Маршрутная карта	Шестерня	Литера А

Материал		Код единицы величины	Масса детали	Заготовка				Единица нормирования	Норма расхода	Коэфф. использ. матер.
Наименование, марка	Код			Код и вид	Профиль и размеры	Кол. дет.	Масса			
Сталь 40Х	12		6,2	поковка	Ø156х86	1	10,5	1	12,1	0,51

Номер цеха	Номер участка	Номер операции	Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование (код, Наименование, инвентар-ный номер)	Коэф. штучн. врем.	Кол-во раб.	Кол. одн. обрабат. деталей	Код тар. сетки	Объем производ-ствен. партии	$T_{пз}$
						Код профессии	Разряд работы	Единица нормирования	Код вида нормы		$T_{шт}$
1	1	3	Ковка								
7	2	5	Токарно-винторезная		Ток.- винт.	1	1	1	□	150	27
					16К20	□	2	2	□		3,45
7	2	7	Токарно-винторезная		Ток.- винт.	1	1	1	□	150	27
					16К20	□	2	1	□		4,74

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проверил	Нормиров.	Нормоконтр.	Лист	Листов

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв.№Дубл.	Подпись и дата

ГОСТ 3.110 5 – 74 Форма 3а

Номер			Наименование и содержание операции	Обозначение документа	Оборудование (код, наименование, Инвентар-ный номер)	Коэф. штучн. врем.	Кол-во раб.	Кол. одн. обрабат. деталей	Код тар. сетки	Объем производ ственн. партии	$T_{пз}$
цеха	Участка	операции				Код профессии	Разряд работы	Единица нормирования	Код вида нормы		$T_{шт}$
7	2	9	Контрольная		Контрольн.						
					стол						
1	2	11	Термическая								
7	2	13	Токарно-винторезная		Ток.- винт.	1	1	1	□	150	27
					16К20	□	2	2	□		6,7
7	2	15	Токарно-винторезная		Ток.- винт.	1	1	1	□	150	27
					16К20	□	2	1	□		5,21

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	№ Докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

лист

листов

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № Дубл.	Подпись и дата

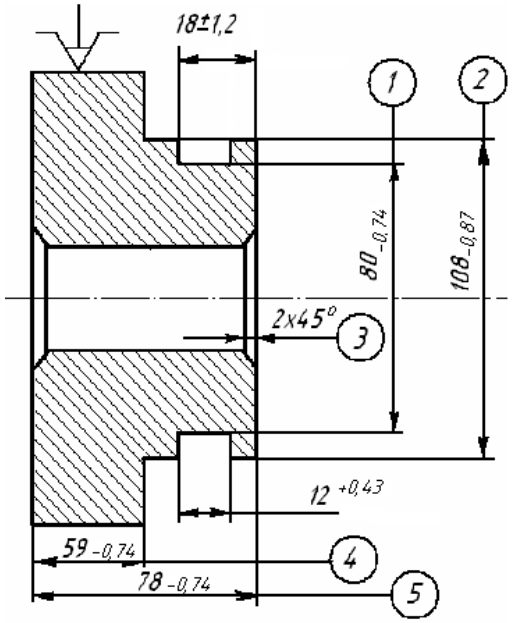
ГОСТ 3.1105 – 74 форма 5

Карта эскизов

Шестерня

Номер операции

15



Rz80

										Разработал				Лист
										Проверил				
														Листов
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Нормоконтр.				

ГОСТ 3.1404 – 74 форма 1

Инв.№ подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв.№ дубл.	Подпись и дата

Кафедра ЭГО	**Операционная карта механической обработки**	***Шестерня***

Номер цеха	Номер участка	Номер операции	**Наименование операции**	Наименование и марка материала	Масса детали	Заготовка: Профиль и размеры	Заготовка: Твердость	Заготовка: Масса
7	2	15	*Токарно-винторезная*	*40Х*	*6,2*	*Ø156×86*	*НВ 269*	-

Количеств. одноврем. обр. дет	**Оборудование (наименование, модель)**	Приспособление (код и наименование)	*3х кулачков. патрон*		охлаждение
1	*Токарно-винторезный 16К20*				

Номер пере-	Содержание перехода	Инструмент (код и наименование): Вспомогательный	Режущий	Измерительный	расч. размеры: диаметр, ширина	Длина	t	i	Режим обработки: S	n	V	$T_О$	$T_В$
А	*Установить деталь,*												*0,45*
	закрепить												
1	*Подрезать торец 5*		*Резец*	*Штангенц*	*140*	*45*	*4*	*4*	*0,4*	*315*	*138*	*0,2*	*2,59*
			подрезной	*ц.д.–0,1мм*									
			Т15К6										

											Проверил				Лист
											разработал				
											Нормиров.				Листов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№докум	Подпись	Дата	Нормоконтр			

ГОСТ 3.1404 – 74 форма 1а

Инв. № подп.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв.№ дубл.	Подпись и дата

Номер операции: 15

Номер перехо-	Содержание перехода	Инструмент (код и наименование)			расч. размеры		t	i	Режим обработки			$T_О$	$T_В$
		Вспомогательный	Режущий	Измерительный	диаметр, ширина	Длина			S	n	V		
2	Точить поверхн.2		Резец	Штангенц	140	21	4	4	0,39	315	138	0,3	1,59
	с подрезанием торца		проход-	ц.д.–0,1мм									
	ступени 4		упорный										
			Т15К6										
3	Точить канавку 1		Резец	Штангенц	108	15	12	1	0,12	200	68	1,05	0,4
			отрезной	ц.д.–0,1мм									
			Т15К6										
4	Расточить фаску 3		Резец		55	3	2	1	0,1р	200	35	0,12	0,6
			проход-										
			Т15К6										

															Лист
															Листов
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм	Лист	№ Докум.	Подпись	Дата	Нормоконтр				

ГОСТ 3.1404 – 74 форма 1а

Инв. № подп.	Подпись и дата	взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата		
				Номер операции	15	

Номер перехода	Содержание перехода	Инструмент (код и наименование)			расч. размеры		t	i	Режим обработки			$T_О$	$T_В$
		Вспомогательный	Режущий	Измерительный	диаметр ширина	Длина			S	n	V		
5	Притупить острые		Резец про-		139	1,5	0,5	1	0,1р	200	89	0,1	0,15
	кромки		ходной		108	1,5	0,5	1	0,1р	200	89	0,1	0,15
			Т15К6										
6	Открепить – снять												
	деталь												0,2
	Контроль												
	Проверить $Ø 108_{-0,74}$			Инструмент									
	$Ø 80_{-0,74}$; $Ø 78_{-0,74}$			операции									

																Лист
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ Докум	Подпись	Дата	Нормоконтр					листов

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. Ч.1. М., 1974.
2. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения Ч.2. М., 1975.
3. Маталин А. А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: В 2т. / Под ред. Л. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. Т.1.М.: Машиностроение, 1985. 656 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 1 /Под ред. А .М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. М.:Машиностроение-1, 2001. 912 с.
6. Обработка металлов резанием: Справочник технолога./А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А. А. Панова.- М.: Машиностроение 1988.736 с.: ил.
7. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования: Серийное производство. - М.: Машиностроение, 1974. 421 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ..... 2
1.МАРШРУТНАЯ КАРТА 4
2.ОПЕРАЦИОННАЯ КАРТА 13
3.КАРТА ЭСКИЗОВ 18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Глубина резания t для некоторых методов обработки 22
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Оформление карт по ГОСТ 3.1404 - 74 25
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Оформление карты эскизов и операционной (ГОСТ 3.1702 – 79)..... 0
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Примеры оформления технологических карт по ГОСТ 3.1404–74 0
ЛИТЕРАТУРА..... 0

Учебное издание

Татьяна Петровна Глинникова
Сергей Александрович Волегов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛДОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Справочно-методическое пособие
по оформлению технологических КАРТ
«Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) направление 150700.62 «Машиностроение», 151000 –«Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (ТМО) и среднего профессионального образования 151031 – «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Редактор Баклаева В.

Подписано в печать 2007 г. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 300. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

«Основы технологии машиностроения»

Лабораторный практикум
для студентов специальностей 15.03.01«Машиностроение», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (ТМО) и среднего профессионального образования

Екатеринбург

2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

«Основы технологии машиностроения»

Лабораторный практикум
для студентов специальностей «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) направление 15.03.01 «Машиностроение», и среднего профессионального образования 15.03.02 – «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Г54

Рецензент: *А. П. Комиссаров*, д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Лабораторный практикум рассмотрен на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования _____ 2018 г. (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Глинникова Т. П., Волегов С. А.
Г54 «Основы технологии машиностроения» *Лабораторный практикум* для студентов специальностей «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) направление 150700.62 «Машиностроение», 151000 –«Технологические машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (ТМО) и среднего профессионального образования 151031 – «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*
/ Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 50 с.

Лабораторный практикум содержит практические задания и упражнения, способствующие усвоению пройденного предмета «Основы технологии машиностроения».

© Глинникова Т. П., Волегов С. А., 2018
© Уральский государственный горный университет, 2019

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ (ГОСТ 2789 – 73)

Цель работы

Усвоить и закрепить методику определения некоторых параметров шероховатости поверхности, а также изучить зависимости шероховатости от основных параметров режущего инструмента и элементов режима резания.

Краткие теоретические сведения

Шероховатость обработанной поверхности оказывает существенное влияние на износоустойчивость наружной поверхности детали, характер посадки (сохранение гарантированного зазора или натяга), силу трения в сопряженных узлах механизма, смазку и антикоррозионную способность рабочей поверхности.

Имеющиеся шероховатости на обработанной поверхности изделия – это следы режущего инструмента в результате главного и вспомогательного движений.

Измерение профиля шероховатости можно производить как в направлении подачи, так и в направлении главного движения.

В первом случае (рис. 1.1) мы определим поперечную шероховатость, а во втором – продольную.

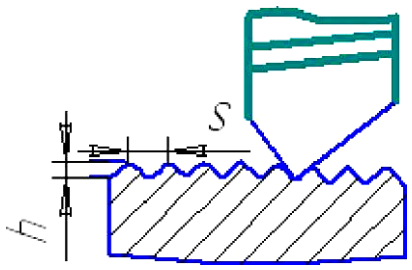


Рис. 1.1. Схема определения поперечной шероховатости

Согласно рис. 1.1 можно определить поперечную шероховатость при токарной обработке по формуле

$$h = R - \frac{\sqrt{4R^2 - S^2}}{2} \qquad (1.1)$$

или приближенно

$$h = \frac{S^2}{8R}, \qquad (1.2)$$

где h – высота шероховатости, мм; S – подача резца, мм/об; R – радиус при вершине резца, мм.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующими рельеф поверхности деталей в пределах базовой длины.

Настоящая работа выполняется на токарно-винторезном станке. Режим резания при точении определяется глубиной резания (t), подачей (S) и скоростью резания (V).

В основном, влияние на величину шероховатости оказывают: скорость резания (V), подача (S), радиус при вершине резца (R) и главный угол в плане φ (рис. 1.2.).

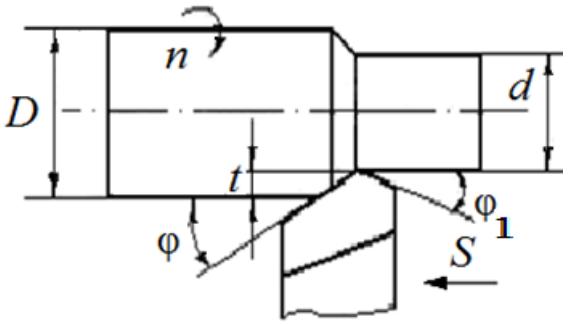


Рис. 1.2. Схема обработки заготовки при определении продольной шероховатости

Глубина резания определяется по формуле

$$t = \frac{D - d}{2}.$$

Подача – это величина перемещения инструмента за один оборот детали.

Скорость резания определяется по формуле

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

где n – частота вращения детали в мин.,

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D} \cdot 1000.$$

Из параметров режима резания на шероховатость наибольшее влияние оказывают подача и скорость резания. Глубина резания практически не влияет на шероховатость. Теоретически, из чисто геометрических построений, можно подсчитать высоту гребешков шероховатости по формуле

$$Rz = S \frac{\sin\varphi \cdot \sin\varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}$$

(1.3)

Из анализа формул (1.1) и (1.2) следует, что высота шероховатости снижается с уменьшением подачи, а также с увеличением радиуса при вершине резца.

Опыты показывают, что теоретические расчеты не совпадают с действительными размерами шероховатости. Объясняется это тем, что в формулах не учитываются упругие деформации, вырывание частиц металла по границам зерен, нарост на режущих поверхностях инструмента, в процессе резания всегда имеют место пластические деформации срезаемого слоя, вибрации и др. факторы. Степень влияния каждого фактора на шероховатость обработанной поверхности обусловлена не только геометрией режущего инструмента, но также будет во многом зависеть от вида обрабатываемого материала, режима резания (*V, S, t*), охлаждения режущего инструмента, изношенности оборудования и т. д.

Следует иметь в виду, что фактическая шероховатость никогда не соответствует расчетной, так как формула (1.3) не учитывает влияние скорости резания. В настоящей работе ставится задача установить эмпирические зависимости шероховатости от подачи и скорости резания.

Оборудование:

1. Токарно-винторезный станок.
2. Резцы, проходные твердосплавные.
3. Специальные образцы (два).
4. Микроскоп МИС–11или портативный измеритель шероховатости *TR* 100.
5. Угломер.
6. Эталоны шероховатости.

Порядок выполнения работы

1. Измеряется геометрия резца (α°, γ°, φ°, φ°).
2. Замеряется диаметр образца (рис. 1.3).
3. Подсчитывается необходимое значение частоты вращения шпинделя по заданной скорости резания. Полученное значение уточняется по станку (выбирается ближайшее меньшее, имевшееся на станке).

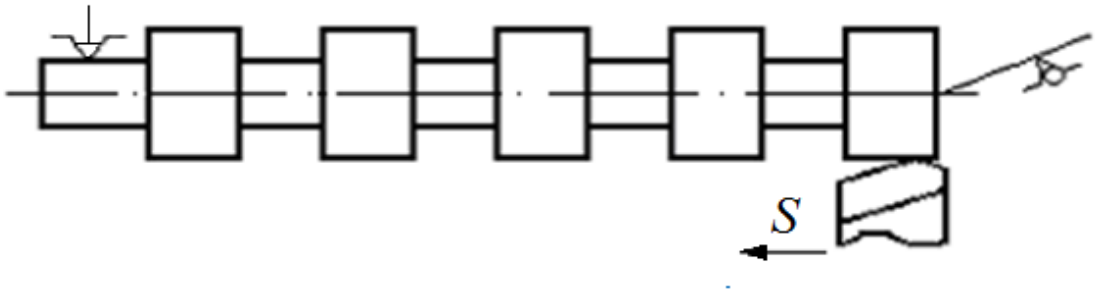


Рис. 1.3. Схема настройки

4. Принимаются фактические значения подачи в соответствии с паспортными данными станка, т. е. принимается ближайшее меньшее к заданным значениям в первой и второй сериях опытов.

Первая серия опытов

Устанавливается зависимость шероховатости от подачи.

Величина подачи принимается последовательно: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мм/об. Глубина резания принимается 0,3 мм. Скорость резания принимается 30 м/мин. После обточки на каждой ступени замеряется высота шероховатости, данные заносятся в табл. 1.1.

На каждой ступени шероховатость измеряется по три раза.

Таблица 1.1

Зависимость шероховатости от подачи

Подача, мм/об	Высота шероховатости, мкм				Расчетное значение шероховатости, мкм
	Rz_1	Rz_2	Rz_3	$Rz_{ср}$	

По результатам экспериментальных данных строится график зависимости шероховатости (Rz) от подачи (S) в логарифмических координатах (рис. 1.4).

Для построения графика следует пользоваться логарифмической линейкой. График строится по $Rz_{ср}$.

По построенному графику определяется показатель степени m в формуле: $Rz = C_s \cdot S^m$ как тангенс угла наклона прямой

$$\left(m = tg\alpha = \frac{a}{b} \right).$$

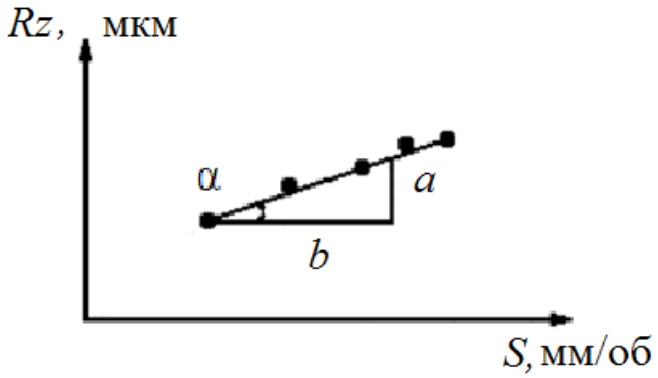


Рис. 1.4. Зависимость шероховатости от подачи

Затем определяем постоянный коэффициент (C_S), характеризующий условия, в которых проводился эксперимент.

Вторая серия опытов

Устанавливается зависимость шероховатости от скорости резания.

Скорость резания принимается последовательно: 10; 20; 30; 40; 50 или 40; 50; 60; 70; 80 м/мин. Подача принимается 0,2 мм/об, а глубина резания – 0,3 мм.

После обточки на каждой ступени замеряется высота шероховатости, данные заносятся в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Зависимость шероховатости от скорости

Скорость резания, м/мин	Высота шероховатости, мкм			
	Rz_1	Rz_2	Rz_3	$Rz_{ср}$

По результатам экспериментов строится график зависимости $Rz = f(V)$ в логарифмических координатах и так же определяются показатель степени (n) и постоянный коэффициент (C_V) в формуле

$$Rz = C_V \cdot V^n.$$

Для этого в формулу подставляют соответствующие значения из таблицы 1.2. По найденным значениям C_V подсчитывается среднее арифметическое.

Указания по измерению шероховатости

Существуют различные способы измерения шероховатости поверхности. В настоящей работе используется оптический прибор – двойной микроскоп – МИС–11 .

Прибор предназначен для измерения шероховатости по параметру *Rz*. Его можно использовать также для оценки шероховатости по показателю *Ra.*

Диапазон измерения по параметрам высоты профиля составляет 20 ÷ 0,6 мкм.

Прибор МИС–11, принцип действия которого основан на методе светового сечения, представляет собой систему двух микроскопов (рис. 1.5).

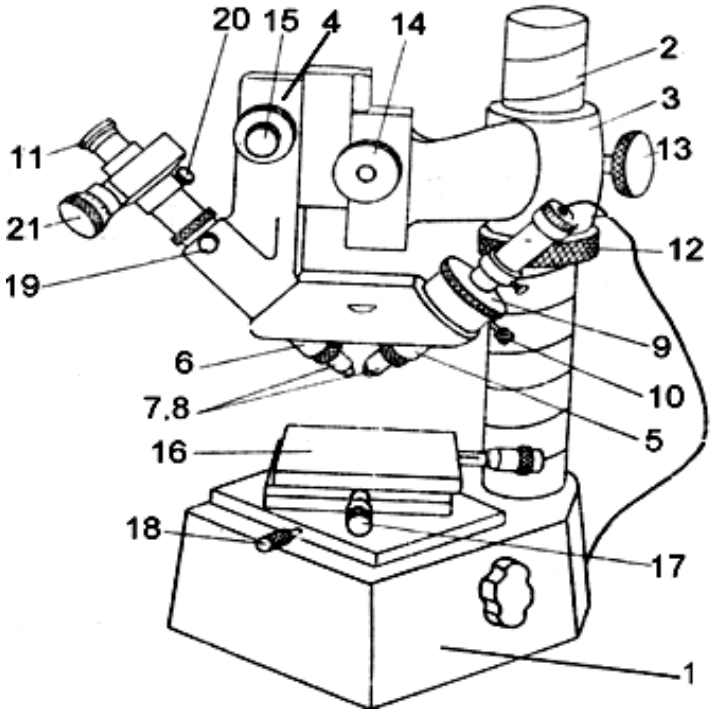


Рис. 1.5. Двойной микроскоп МИС –11:

1 – основание; *2* – колонка; *3* – кронштейн; *4* – держатель тубусов; *5* – проецирующий микроскоп; *6* – наблюдательный микроскоп; *7, 8* – объективы; *9* – регулировочная гайка; *10* – зажимной винт; *11* – окуляр; *12* – гайка; *13* – винт; *14* – винт грубой подачи; *15* – микровинт; *16* – предметный стол; *17* – микровинт; *18, 19* – стопорные винты; *20* – винт; *21* – барабан окулярного микроскопа

Один микроскоп называется *осветительным*. Он служит для создания плоского пучка света, направляемого от источника через щелевую диафрагму и объектив *7* на контролируемую поверхность изделия. Другой микроскоп, имеющий объектив *8* и окуляр 11, называется *измерительным*. Он служит для рассматривания светящейся линии, полученной в результате пересечения плоской полосы света с контролируемой поверхностью. Оси микроскопов составляют между собой прямой угол. Биссектриса этого угла совпадает с нормалью к контролируемой поверхности.

Светящаяся линия пересечения копирует действительный профиль поверхности. Спроектированная объективом измерительного микроскопа в фокальную плоскость окуляра, эта линия в увеличенном виде, например в *X* раз, воспроизводит высоту и шаг шероховатости поверхности.

Шероховатость поверхности анализируют в следующей последовательности:

а) поднять кронштейн *3* с держателем *4* микроскопа, вращая гайку *12* при отстопоренном винте *13*;

б) на предметный столик *16* положить призму глубоким пазом вверх. В глубокий паз призмы установить деталь;

в) произвести грубую фокусировку поверхности детали, опуская держатель *4* вращением гайки *12*;

г) установить кронштейн *3* так, чтобы биссектриса угла осей тубусов микроскопов *5* и *6* проходила примерно через центр детали, а плоскость осей тубусов располагалась перпендикулярно поверхности детали. Зафиксировать положение кронштейна стопорным винтом *13;*

д) опуская или поднимая микроскопы вращением винта *14*, получить резкое изображение поверхности, которое с помощью микровинта *15* установить в середине поля зрения окуляра;

е) включить прибор в сеть с напряжением *6* вольт;

ж) изменяя винтом *9* наклон осветительного микроскопа, получить изображение световой щели в поле зрения окуляра и совместить это изображение с ранее полученным резким изображением участка контролируемой поверхности;

з) отфокусировать изображение световой щели гайкой *10*. Из двух границ изображения щели обычно одна получается более резкой. По ней в дальнейшем и следует производить измерения;

и) при отстопоренном винте *20* повернуть окулярный микрометр *11* так, чтобы ось барабана *21* составляла с осью контролируемой детали угол примерно в 450º. Затем, вращая барабан, совместить горизонтальную линию перекрестия окуляра с вершиной одного из выступов. Перемещая деталь при помощи микровинта *17,* добиться, чтобы горизонтальная линия перекрестия касалась выбранной вершины в пределах всего поля зрения окуляра. После этого положение окуляра микрометра зафиксировать винтом *20*, а предметный столик – винтом *18*.;

к) выбрать наиболее характерный участок поверхности детали для измерения шероховатости. Необходимо при этом помнить, что

поле зрения окуляра может не охватывать всю заданную длину и для выполнения всех измерений потребуется смещать деталь при помощи винта *17*. По делениям винта *17* следить, чтобы величина смещения не превысила заданной базовой длины;

л) измерить в пределах базовой длины высоту микронеровностей у десяти обработанных поверхностей.

Для измерения каждой микронеровности горизонтальную линию перекрестия подвести сначала к вершине изгиба щели по выбранной стороне, например, верхней (рис. 1.6). Снять отсчет А1 по барабану окулярного микрометра *21*. Затем горизонтальную линию перекрестия подвести ко дну впадины по той же стороне щели (рис. 1.6). Снова снять отсчет А2 по барабану. Следует помнить, что барабан может сделать полный оборот, соответствующий 100 делениям. Отсчет полных оборотов барабана производится при помощи двойного штриха, который перемещается относительно неподвижной шкалы окуляра одновременно с перекрестием барабана (одно деление неподвижной шкалы соответствует одному полному обороту барабана). Отсчеты А1 и А2 (с учетом полных оборотов) занести в тетрадь лабораторных работ и вычислить разность

$$H1 = A1 - A2.$$

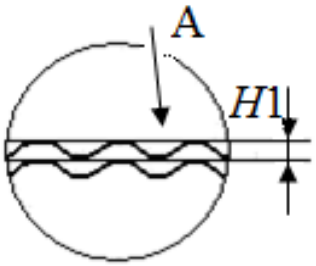


Рис. 1.6. Профиль поверхности под микроскопом

м) по пяти разностям отсчетов найти среднее арифметическое значение А.

Высота неровностей $Rz = A \times E$, где E – цена деления барабана окулярного микроскопа, зависящая от фокусного расстояния, которое указывается на оправе объектива *7* и *8*.

По полученным расчетным и экспериментальным данным построить зависимости: $Rz = f(S)$ при $t = \text{const}$, $S = \text{const}$ и $Rz = f(s)$ при $V = \text{const}$, $t = \text{const}$.

Сделать выводы по работе.

С целью экономии времени при измерении предлагается упрощенная методика измерения. Для точного измерения следует изме-

рить пять максимальных выступов, а затем пять впадин, после чего вычислить шероховатость.

Для измерения соответствующей шероховатости следует правильно выбрать объективы. Для выбора можно пользоваться табл. 1.3, 1.4.

Таблица 1.3

Выбор объектива в зависимости от шероховатости поверхности

Фокусное расстояние объектива, мм	Высота шероховатости, мкм	Коэффициент увеличения
25,0	40–6,3	0,85
13,9	20–3,2	0,475
8,2	6,3–1,6	0,285
4,3	3,2–0,8	0,14

Таблица1.4

Зависимость цены деления от фокусного расстояния

Фокусное расстояние, мм	4,25	8,16	13,89	25,02
Цена деления, мкм	0,143	0,391	0,474	0,862

Содержание отчета

В отчете должно быть название работы, цель, оборудование, схема настройки, соответствующие протоколы, графики и полученные формулы, выводы.

ПОРТАТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ TR 100

1. Принцип работы и особенности конструкции

Действие прибора (рис. 1.7) основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой щупа и преобразования, возникающих при этом механических колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Результаты измерения параметров шероховатости выводятся на жидкокристаллический дисплей.

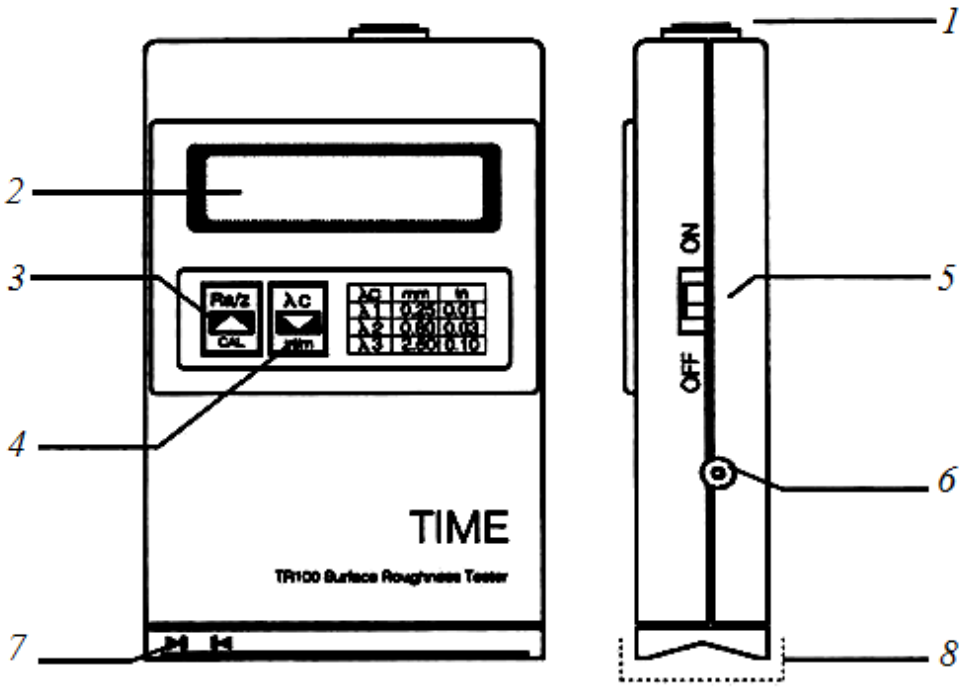


Рис.1.7 Конструкция базового блока
1 – кнопка запуска измерения, *2* – ЖК экран, *3* – клавиатура (кнопка) 1, *4* – клавиатура (кнопка) 2, *5* – Вкл\выкл выключатель, *6* – зарядное гнездо, *7* – контактный щуп, *8* – защитный колпачок для контактного щупа.

2. Основные технические характеристики

- Параметры измерения: *Ra, Rz.*
- Длина перемещения (мм): 6.
- Выборочная длина (мм) : 0,25, 0,80, и 2,5.
- Оценочная длина (мм): 1.25, 4.0, и 5,0
- Диапазон измерения (мкм): *Ra*: 0,05 ÷ 10,0, *Rz*: 0,1 ÷ 50
- Погрешность показа: ± 7 %.

3. Эксплуатационный режим

3.1 Эксплуатация

При включении прибора кратковременно происходит полный показ экрана. После звукового сигнала, прибор готов к работе (на экране появляются измеряемые параметры и выборочная длина для предыдущего испытания).

Перед началом измерения, выберите необходимый параметр *Ra* или *Rz* и необходимую выборочную длину – 2,5 (табл. 1.5).

Таблица 1.5.

Рекомендации по выбору длин отрезков

Ra (мкм)	*Rz* (мкм)	Рекомендуемые длины отрезков
> 40–80	> 160– 320	8
> 20–40	> 80– 160	
> 10–20	> 40– 80	
> 5–10	> 20– 40	2.5
> 2.5– 5	>10– 20	

После включения прибора, нажимают клавишу 

и выбирают *Ra* или *Rz*, затем нажимают клавишу 

и выбирают 2,5.

После того, как параметры выбраны, измерение можно начинать. Местоположение метки ▶| |◀ соответствует испытуемой области. Поставьте прибор меткой на исследуемую область, нажмите кнопку пуска, измерение начнётся автоматически. Когда прозвучит два сигнала, измерение закончено, и на экране появится измеренное значение.

Внимание!

Во время движения датчика держите прибор на контролируемой детали устойчиво, чтобы не уменьшить точность измерения.

3.2. Контроль напряжения батареи

Если виден значок «BAT» в верхнем левом углу экрана, то напряжение батареи понижено и необходима подзарядка.

Когда экран показывает «BAT» и раздаётся сигнал, то это указывает на то, что напряжение достигло самого низкого предела и зарядка должна быть выполнена немедленно.

Выключать прибор лучше после каждого измерения, чтобы экономить энергию и если необходимо, делать подзарядку.

Датчик – это измерительная часть прибора, соблюдайте особую осторожность. После каждого использования прибора, надевайте защитное покрытие, и избегайте ударов.

ЛИТЕРАТУРА

Егоров М. Е. и др. Технология машиностроения, М.: Высшая школа, 1976, 526 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ПРИ ТОЧЕНИИ НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК

Цель работы

Изучение влияния жесткости заготовки на точность формы и размеров детали при обработке на токарном станке.

Краткие теоретические сведения

Суммарная погрешность обработки состоит из элементарных погрешностей. Определение величины суммарной погрешности играет особую роль для практики машиностроения.

Наиболее ощутимое влияние на ожидаемую точность, т. е. суммарную погрешность оказывают:

- упругие деформации технологической системы;
- погрешность установки заготовок;
- износ режущего инструмента;
- погрешность настройки инструмента;
- геометрическая точность металлорежущего оборудования;
- погрешность, зависящая от тепловых воздействий.

Эти факторы не остаются постоянными. Изменения характерны как для лезвийного, так и для абразивного инструмента.

Основные причины, вызывающие изменение силовых факторов

При обработке партии заготовок с предварительной настройкой инструмента на размер, приходится снимать слои материала различной глубины. Колебание глубины от t_{max} до t_{min} подчиняется определенному закону распределения и вызывает колебание сил резания. Кроме того, режущий инструмент при своем движении встречает негомогенные участки материала с различной твердостью. Это также

приводит к колебанию величины силы резания. Наряду с этим, на колебание сил резания оказывает влияние износ инструмента [1].

Силы резания (рис. 2.1). вызывают упругие отжатия (деформации) элементов технологической системы, а колебания сил резания приводят к постоянному изменению упругих отжатий.

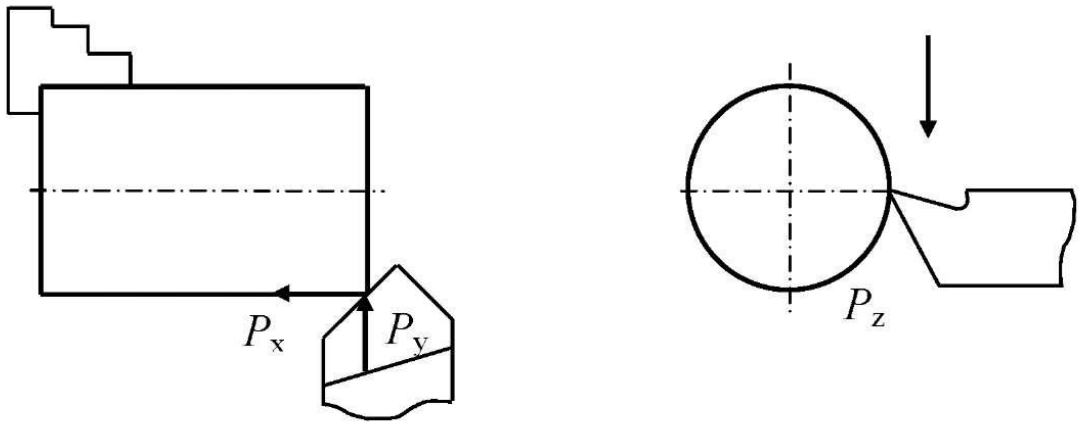


Рис. 2.1. Схемы сил резания, действующих при обработке вала на токарном станке

Силы резания определяются по эмпирическим формулам, например [1]:

$$P_y = C_p \cdot S^y \cdot V \cdot t_ф^x \cdot (HB)^n,$$

где S – подача, мм/об; V – скорость резания, м/мин; HB – твердость обрабатываемого материала по Бринелю; C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; y, x, n – показатели степеней, выбираемые в соответствии с конкретными условиями обработки; $t_ф$ – фактическое значение глубины резания, мм.

Упругие перемещения технологической системы являются функцией силы и жесткости [2].

$$y = f(P, j).$$

К силам, порождающим упругие перемещения, относятся: сила резания, сила зажима, центробежная сила и т. д.

Жесткость технологической системы и соответствующие ей упругие перемещения определяются как жесткостью заготовки – $j_{заг}$, так и жесткостью части технологической системы, с которой связан обрабатывающий инструмент.

Относительное упругое перемещение инструмента и заготовки можно определить по формуле:

$$y = y_з + y_д + y_п,$$

где y – упругое относительное перемещение инструмента и заготовки; $y_з$ – упругое перемещение заготовки относительно станины станка; $y_д$ – собственные упругие деформации заготовки; $y_п$ – упругое перемещение инструмента относительно станины станка.

Рассмотрим влияние силы резания на упругие деформации заготовки при ее консольном закреплении (см. рис. 2.1). Подобная схема базирования широко применяется на токарных, шлифовальных и зубообрабатывающих станках.

На деформацию заготовки наибольшее влияние оказывает составляющая сила резания P_y, некоторое влияние также оказывают силы резания P_x и P_z . Практически влияние последних учиты вается тем, что при испытании жесткости нагружение системы производят силой, совпадающей по направлению с суммарной силой резания, хотя расчет жесткости ведут только по составляющей P_y.

Величина деформации заготовки зависит от схемы ее закрепления. При консольном закреплении в патроне токарного станка (см. рис. 2.1) наибольшее ее отжатие имеет место на правом свободном конце [2].

$$y_{\max} = \frac{P_y \cdot l^3}{3E \cdot J} \ ,$$

где l – вылет детали, мм; E – модуль упругости материала заготовки, МПа; J – момент инерции сечения заготовки, мм^4.

При консольном закреплении вид отклонения формы заготовки в продольном сечении – конусность.

При обработке заготовок на металлорежущих станках большую роль играет их жесткость, которая предопределяет точность и производительность обработки, место и усилие зажима, режимы и др. факторы процесса обработки и его результаты. При обработке консольно закрепленных прутковых заготовок на токарных станках с увеличением вылета консоли увеличивается прогиб заготовки вследствие действия сил резания. Поэтому часто при обработке маложестких заготовок на токарных станках применяют промежуточные опоры (люнеты). При обработке заготовок на станках имеют место выбор зазоров между узлами станка, а также упругие деформации узлов станка, приспособления и инструмента в направлении действия силы резания. Но при выполнении данной работы ими можно пренебречь, так как они во много раз меньше упругой деформации заготовки.

Применяемое оборудование, приборы, материалы и инструменты

- Токарный станок с трехкулачковым патроном.
- Резец проходной.
- Пруток из стали 45 (ГОСТ 1050–88) Ø15 – 25 мм и длиной l = 230 – 300 мм. Чем больше диаметр заготовки, тем больше должна быть ее длина.
- Микрометр с пределами измерений 0 – 25 мм, с ценой деления 0,01 мм.
- Штангенциркуль с пределами измерений 0 – 250 мм, с ценой деления 0,1 мм.

Порядок выполнения работы

Заготовка – пруток устанавливается в трехкулачковом патроне токарного станка согласно схеме, приведенной на рис. 2.2.

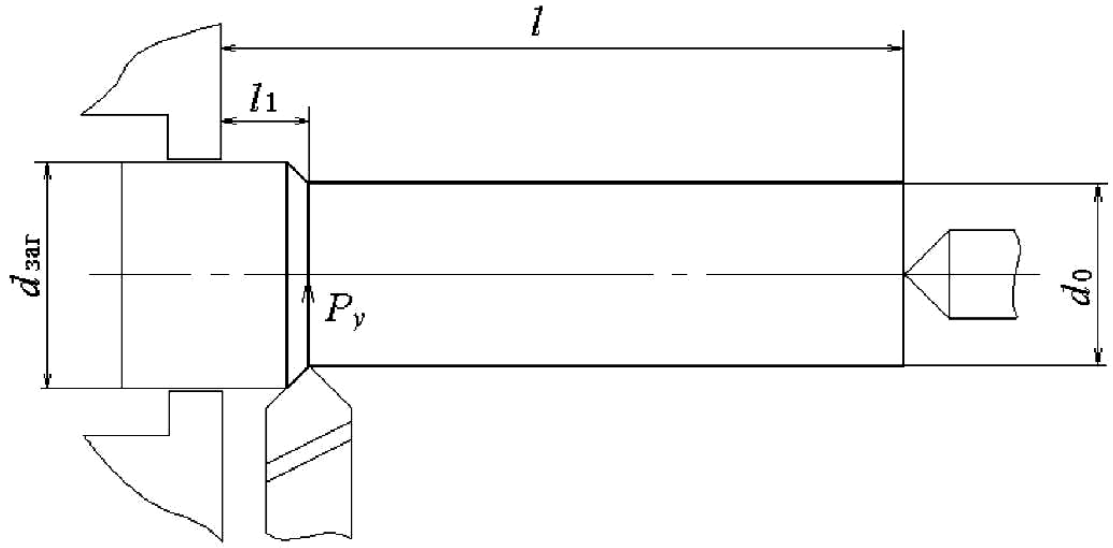


Рис. 2.2. Схема установки заготовки

Для заготовки с диаметром d_0 = 15 мм длина консольной части должна составлять l = 160 мм, а при d_0 = 25 мм – l = 200 мм. После установки заготовка обрабатывается на размер d_0 для устранения погрешностей установки и погрешностей формы заготовки, что обеспечивает равномерность припуска при последующей обработке.

Рекомендуется свободный консольный конец заготовки зафиксировать с помощью заднего центра. Предварительная обработка выполняется с небольшой подачей S и глубиной резания t. После этого микрометром выполняется замер полученного диаметра заготовки d_0 и результат заносится в отчет.

Затем задний центр отводится от консольного конца заготовки и выполняется ее обтачивание по всей длине (кроме технологически необходимого участка $l_1 \leq 10$ мм).

При этом рекомендуются следующие диапазоны параметров используемого режима резания:

1) частота вращения шпинделя – n = 200 – 500 об/мин;
2) подача s = 0,1 – 0,3 мм/об;
3) глубина резания t = 0,5 – 1,0 мм.

После токарной обработки производится замер диаметров d_1, d_2 и d_3 в сечениях, соответствующих наибольшей длине вылета заготовки l, середине заготовки 0,5l и наименьшей длине вылета l_1 (рис. 2.3).

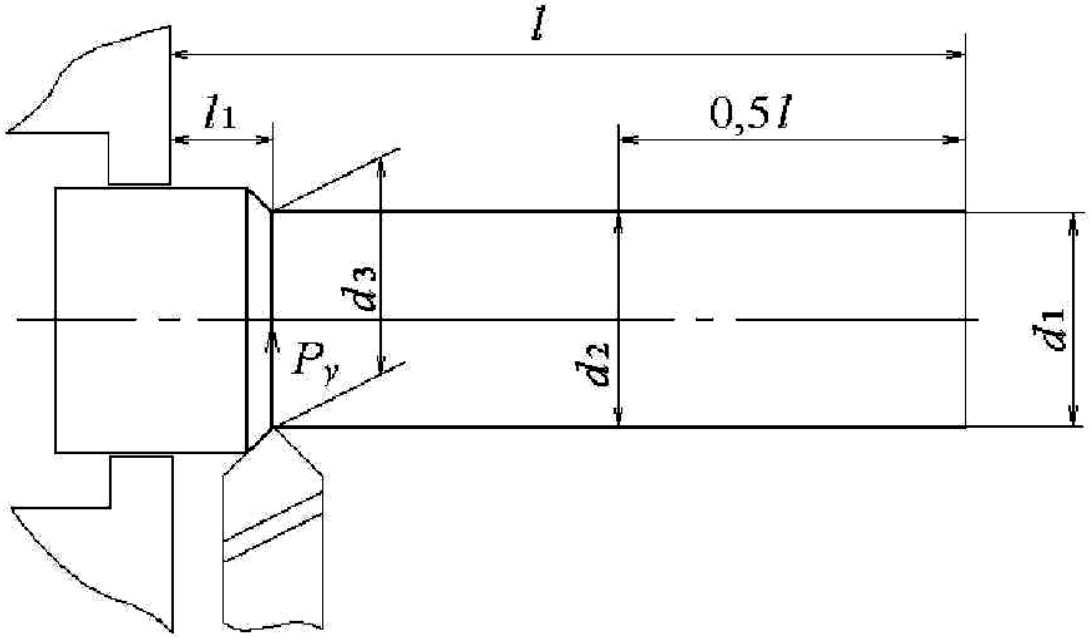


Рис. 2.3. Схема замера диаметров и размеров длин обработанной заготовки

Измерение диаметров выполняется микрометром с точностью до 0,01 мм, измерение длин – штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Результаты измерения заносятся в таблицу.

Методика выполнения работы и обработки результатов наблюдений

Необходимо произвести расчет ожидаемой погрешности формы заготовки после ее обработки под действием радиальной составляющей усилия резания P_y (влиянием сил P_z и P_x пренебрегаем).

При наружном продольном точении радиальная составляющая силы резания может быть определена по формуле [1]:

$$P_y = 10\, C_p \cdot s^y \cdot t^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (1)$$

где $C_p = 243$ при обработке конструкционной стали с $\sigma_в = 750$ МПа твердосплавными резцами; t – глубина резания, мм;, S – подача, мм/об., V – скорость резания, м/мин.

Пренебрегая уменьшением глубины резания на конце заготовки, принимаем

$$t = \frac{d_o - d_з}{2}. \quad (2)$$

Скорость резания рассчитывается по формуле [1]

$$V = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n}{1000}. \quad (3)$$

Значения коэффициентов x, y, n, K_p приведены [1].

Прогиб консольно закрепленной заготовки у (мм) под действием радиальной составляющей силы резания P_y рассчитывается по следующей формуле [2] :

$$y = \frac{P_y \cdot l^3}{3E \cdot J}, \quad (4)$$

где J – осевой момент инерции сечения, мм^4;
для тел круглого сечения:

$$J = \frac{\pi \cdot d_0^4}{64}, \quad (5)$$

E – модуль упругости материала заготовки:

$E = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа – для стали; $E = 1{,}05 \cdot 10^5$ МПа – для чугуна [1].

Определяются прогибы y и расчетные диаметры в трех сечениях заготовки на расстояниях l; $0{,}5l$ и l_1.

Все расчетные величины заносятся в таблицу.

Таблица 2.1

Экспериментальные и расчетные величины диаметров заготовки

Параметр образца	Положение сечений		
	l =	0,5l =	l_1 =
Диаметр до обработки	d_0 =		
Диаметр после обработки	d_1=	d_2 =	d_3 =
Прогиб	y_1 =	y_2 =	y_3 =
Расчетный диаметр $d_{р1} = d_0 - 2t + 2y$	$d_{р1}$ =	$d_{р2}$ =	$d_{р3}$ =

Сделать выводы на основе сопоставления фактически полученных диаметров с их расчетными величинами.

Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему замера диаметров и размеров длин обработанной заготовки (рис. 2.3).
3. Параметры используемого режима резания.
4. Расчет ожидаемых диаметров заготовки (см. табл. 2.1).
5. Параметры экспериментальных и расчетных величин диаметров заготовки (таблица).
6. Выводы по работе.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Чем объяснить разницу в расчетных и замеренных диаметрах?
2. Будут ли совпадать расчетные и замеренные диаметры в условиях обеспечения абсолютно жесткой заделки (крепления) детали в патроне?
3. Будут ли уменьшаться погрешности обработки при увеличении глубины резания и подачи?
4. Какую геометрическую форму будет иметь вал после обработки его с консольной установкой в патроне?
5. Какая форма детали получится в случае обработки вала в центрах?
6. Уменьшится ли погрешность формы детали при обработке материалов с меньшим модулем упругости?
7. Объясните появление такого вида отклонения профиля продольного сечения, как седловидность (или корсетность).

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога–машиностроителя. В 2–х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова – 5–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001– 944 с.
2. Егоров М. Е. и др. Технология машиностроения, М.: Высшая школа, 1976, 526 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Цель работы

Ознакомиться с методикой использования методов математической статистики в технологии машиностроения и научиться использовать статистический метод исследования для определения точности обработки.

Краткие теоретические сведения

Метод математической статистики получил широкое распространение для обработки результатов различных исследований. В технологии машиностроения он применяется для анализа точности технологических процессов, работы металлорежущего оборудования и статистического контроля в процессе производства.

Задачами статистического анализа точности технологического процесса являются определение:

1. Суммарной точности механической обработки деталей.
2. Точности настройки станка.
3. Стабильности разработанного технологического процесса с выявлением и анализом причин, вызывающих его нарушение.

Металлорежущим станкам присущи погрешности взаимного расположения узлов и деталей – отклонение от параллельности, соосности, перпендикулярности и т. д. Поэтому при получении заданных размеров партии деталей неизбежны погрешности. Одни могут уве-

личивать размер детали, другие – уменьшать его. Алгебраическая сумма погрешностей, действующих одновременно, образует суммарную или результирующую погрешность обработки. Она является мерой точности выбранного метода обработки и режимов резания.

Для определения ожидаемой суммарной погрешности обработки пользуются следующими тремя методами:

1. С помощью таблиц экономической точности обработки.
2. Статистическим методом анализа точности обработки.
3. Расчетно-аналитическим методом.

Полученный размер детали является случайным событием, а значение размера – случайной величиной. Все случайные размеры обладают закономерностями, которые можно изобразить в виде кривых распределения в зависимости от вида погрешности.

Погрешности, возникающие в результате различных причин подразделяются на *систематические* (постоянные и переменные) и *случайные*.

Систематические постоянные погрешности не изменяются по величине при обработке одной или нескольких партий заготовок и возникают под влиянием действия постоянного фактора.

Пример

1. Погрешность изготовления оборудования, приспособлений и т. п.

   а) неперпендикулярность оси отверстий и базовой поверхности заготовки в результате неперпендикулярности оси шпинделя и плоскости стола вертикального сверлильного станка;

   б) ошибки межосевого расстояния отверстий вследствие неправильно выдержанных расстояний в кондукторе;

   в) погрешность изготовления мерного инструмента.
2. Неправильная градуировка шкалы.
3. Отклонение от нормальной температуры в помещении. Систематические переменные погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически,

   непрерывно влияющая погрешность.

   Пример

1. Погрешность, вызванная размерным износом режущего инструмента.
2. При обработке длинных валов наблюдается конусность.
3. а) периодически влияющая погрешность.

4. Погрешность, возникающая в результате температурной деформации станка в период его пуска до состояния теплового равновесия.
5. Накопленная погрешность микрометра, которая не сказывается при измерении малых величин, но сказывается при измерении больших величин.

Случайные погрешности – погрешности непостоянные по величине и знаку. Они возникают в результате большого количества не связанных между собой факторов. Определить момент их появления и величину случайных погрешностей значительно сложнее, поэтому сложнее и оказывать на них влияние. Зачастую повлиять на случайные погрешности можно лишь путем коренного изменения технологического процесса (например, вместо токарной обработки ввести шлифовальную).

Погрешность партии деталей называют постоянной, если погрешности деталей в партии одинаковы. Такая погрешность получается под действием постоянных факторов, неизменных в точение всей обработки партии деталей. У постоянной погрешности поле рассеивания равно нулю, т. е. рассеивание отсутствует.

Погрешность партии деталей называют закономерно изменяющейся, если по ходу обработки можно проследить закономерность в изменении погрешности деталей.

В этом случае форма кривой распределения зависит от закона изменения общего действия факторов, вызывающих погрешность.

Благодаря случайным погрешностям, размеры деталей в партии (серии) получаются различными с колебанием в пределах допуска.

При проведении статистических исследований часто заменяют опытные кривые распределения известными математическими кривыми распределения.

Исследования показали, что при работе на настроенных металлорежущих станках, когда нет резко доминирующих погрешностей по величине и по времени, распределение действительных размеров партии деталей обычно соответствует закону нормального распределения Ляпунова-Гаусса. Уравнение этой кривой имеет вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где y – частота появления погрешности; e – основание натурального логарифма, равное 2,7182; σ – среднее квадратичное отклонение размера.

Особенностью кривой нормального распределения является то, что с увеличением σ кривая сплющивается, ветви раздвигаются (рис. 3.1). Следовательно, σ является мерой рассеивания размеров.

Для оценки точности токарной обработки в работе применяется статистический метод исследования, который позволяет путём анализа кривых рассеяний размеров подсчитать процент брака, т. е. установить пригодность процесса для достижения определённой величины заданного допуска. В результате действия случайных погрешностей происходит рассеяние действительных размеров исследуемой величины, которое можно представить в виде таблиц или графиков. Для этого производится измерение 25 деталей.

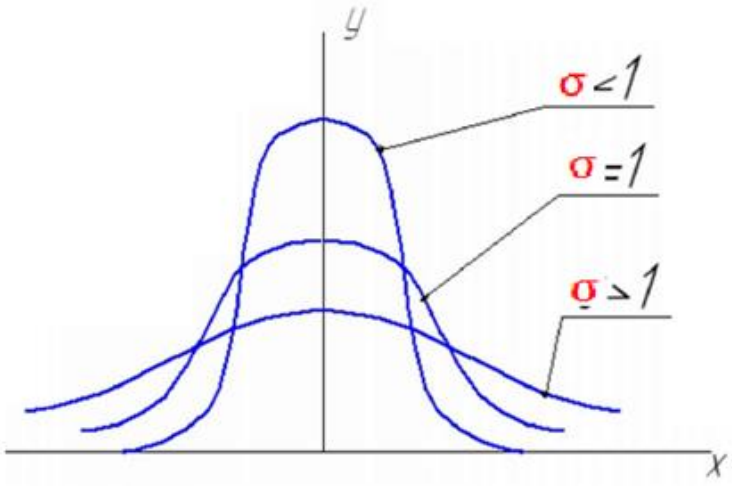


Рис. 3.1. Изменение формы кривой нормального распределения в зависимости от среднего квадратичного отклонения размера

Предварительно заготовка обрабатывается на токарном станке при одной настройке без смены и подналадки инструмента. Предварительная настройка осуществляется на размер, заданный преподавателем. После настройки лимб нониуса поперечной подачи устанавливается на ноль. После обработки каждой детали резец отводится от детали и затем вновь устанавливается в нужное положение по нониусу станка.

Рассеяние размеров подчиняется закону нормального распределения. Для построения кривой фактического распределения размеров, после измерения всех обработанных деталей, полученные размеры разбивают на группы в пределах определенного интервала. Цена интервала выбирается несколько больше цены измерения инструмента. Так, например, при измерении микрометром цена интервала принимается равной 0,02 или 0,05 мм. Результаты заносятся в таблицу (табл. 3.2) и на график (рис. 3.2).

При построении графика по оси ординат откладывают число заготовок с одинаковыми размерами, а по оси абсцисс – их размеры.

После соединения точек получается ломаная линия. При большом количестве точек эта кривая приближается к кривой нормального распределения.

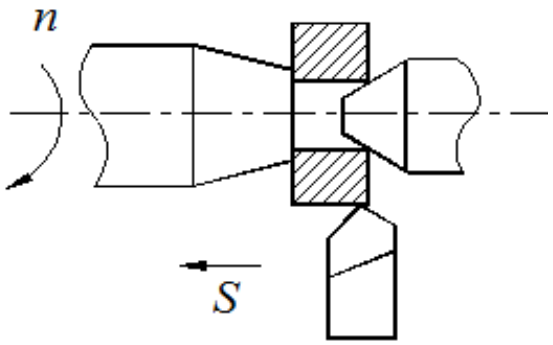


Рис. 3.2. Схема настройки

Для сопоставления полученной кривой с кривой нормального распределения на графике строят по точкам y_{max}, y_{min}, y_{σ} кривую нормального распределения. После этого проводят две вертикальные линии, ограничивающие поле допуска (заданного преподавателем). Если эти линии охватывают кривую распределения, то брака не будет. Если поле допуска окажется внутри кривой распределения, то брак неизбежен. По соответствующим формулам математической статистики можно подсчитать процент брака.

Для того, чтобы определить, насколько полученная кривая рассеяния фактических размеров приближается к теоретической кривой нормального распределения, обе кривые совмещаются в одинаковом масштабе.

Оборудование:

Токарно-винторезный станок.
Резцы проходные твердосплавные.
Микрометр.
Специальные образцы – 25 шт.

Порядок проведения работы

1. Записать техническую характеристику измерительного инструмента.

2. Настроить станок на обработку образцов в размер с указанными предельными отклонениями, заданный преподавателем. (например для $\emptyset\, 50^{+0,10}_{-0,06}$, определяется средний размер $\frac{50,1+49,94}{2} === 50,03$, затем методом пробных стружек на первом образце настраиваемся на размер 50,03 мм, следующие образцы обрабатываются при полученной настройке без смены и подналадки инструмента).
3. Провести измерение действительных размеров с помощью микрометра.
4. Полученный результат занести в табл. 3.1.
5. Произвести математическую обработку результатов. Подсчитать средний измеренный размер диаметра ($d_{ср}$), построить гистограмму распределения размеров, подсчитать среднее квадратичное отклонение.
6. Определить вероятность появления годных деталей и возможного брака, наметить мероприятия по его уменьшению.

Измерение размеров партии деталей в количестве не менее 25 штук проводят по диаметру (d). Средний измеренный размер:

$$d_{ср} = \frac{d_1+d_2+d_3+ \ldots +d_n}{n} = \frac{1}{n}\sum d_i \,,$$

где n – действительное число измеренных деталей в партии.

Таблица 3.1

Результаты измерений

№№ п/п	Размер	№№ п/п	Размер	№№ п/п	Размер	№№ п/п	Размер	№№ п/п	Размер
1	17,89	6	17,92	11	17,93	16	17,94	21	17,94
2	17,95	7	17,95	12	17,96	17	17,96	22	17,96
3	17,97	8	17,97	13	17,97	18	17,98	23	17,98
4	17,98	9	17,99	14	17,98	19	18,00	24	18,00
5	18,01	10	18,02	15	18,02	20	18,04	25	18,05

Среднее квадратичное отклонение размера:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(d_1- d_{ср})^2+(d_2- d_{ср})^2+(d_3- d_{ср})^2+ \ldots +(d_1- d_{ср})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}},$$

где $x_i = d_i - d_{ср}$.

Разница между наибольшим и наименьшим размерами детали называется *полем рассеяния*. Величина поля рассеяния ω = 6σ (т. е. от -3σ до +3σ).

Для построения графика рассеяния фактических размеров d поле рассеяния разбивается на интервалы Δd. Количество интервалов N для удобства построения выражается нечетным числом и берется обычно равным $7 \div 15$.

$$\Delta d = \frac{d_{i\max} - d_{i\min}}{N}.$$

По данным измерений составляется табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты расчетов

Интервал	Частота m	$L_m \cdot m_i$	$X_i = L_m - x$	$X_i^2 \cdot 10^4$	$X_i^2 \cdot m \cdot 10^4$
17,89–17,91	1	17,90	–0,08	64	64
17,91–17,93	1	17,92	–0,06	36	36
17,93–17,95	3	53,82	–0,04	16	48
17,95–17,97	5	89,80	–0,02	4	20
17,97–17,99	6	107,88	0	0	0
17,99–18,01	4	72,00	+0,02	4	16
18,01–18,03	3	54,06	+0,04	16	48
18,03–18,05	1	18,04	+0,06	36	36
18,05–18,07	1	18,060	+0,08	64	64
	25	449,48			332

Примечание: L_m– среднее значение интервала размеров.

Средний арифметический размер (x) определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i M_i = \frac{449{,}48}{25} = 17{,}979 \approx 17{,}98$$

Среднее квадратичное отклонение (σ) определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2 m_i} = \sqrt{\frac{332}{10^4 \cdot 25}} = 0{,}0365 \approx 0{,}04.$$

Для сокращения расчетов и упрощения примерного построения кривой нормального распределения можно ограничиться определением только трех параметров: максимальной ординаты $y_{\max}$ (при $x = \bar{x}$),

ординаты точек перегиба y_σ (при $x = \pm \sigma$) и величины поля рассеяния $\omega = \pm 3\sigma$.

На графике эмпирической кривой (ломаной) распределения построить теоретическую кривую распределения (кривая Гаусса) по 7 точкам, 6 из которых симметричны относительно x.

$$y_{max} = 0{,}4\frac{n\cdot\Delta l}{\sigma} = 0{,}4\frac{25\cdot 0{,}02}{0{,}04} = 5{,}0 \quad \text{при } x = \overline{x},$$

$$y_\sigma = 0{,}242\frac{n\cdot\Delta l}{\sigma} = 0{,}242\frac{25\cdot 0{,}02}{0{,}04} = 3{,}0 \quad \text{при } x_\sigma = \overline{x} \pm \sigma,$$

$$y_{2\sigma} = 0{,}054\frac{25\cdot 0{,}02}{0{,}04} = 0{,}7 \quad \text{при } x_{2\sigma} = \overline{x} \pm 2\sigma,$$

$$y_{3\sigma} = 0 \quad \text{при } x_{3\sigma} = \overline{x} \pm 3\sigma.$$

где y_{max} – максимальная ордината, y_σ – ордината точки перегиба.

По этим данным строится приближенная теоретическая кривая нормального распределения (рис. 3.2). Чем она круче, тем меньше величина σ и тем выше качество технологического процесса, и наоборот.

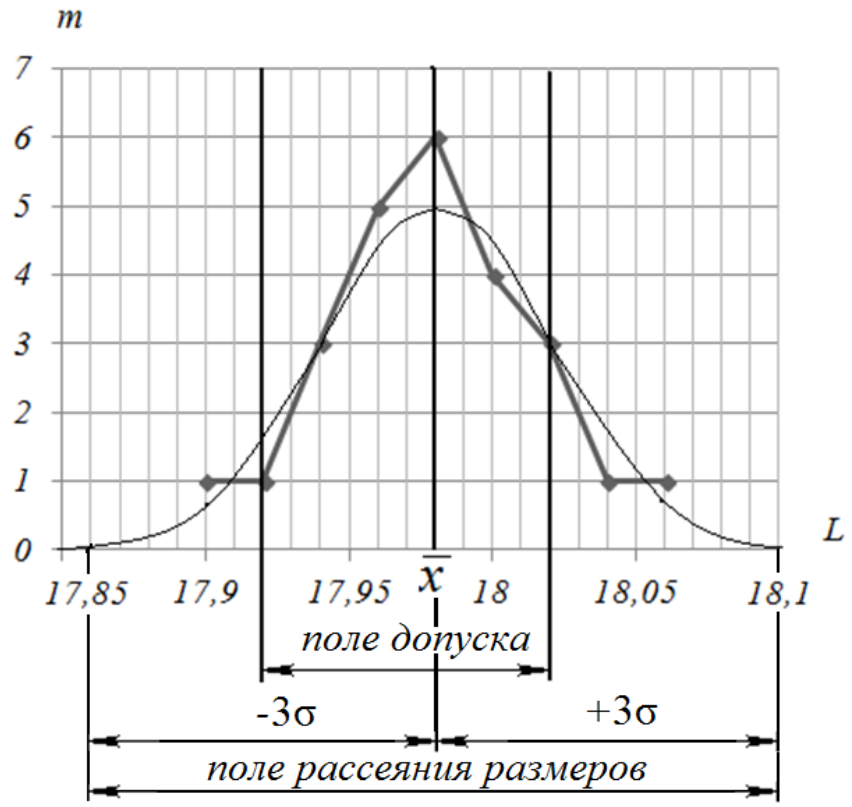


Рис. 3.2. Кривая рассеяния фактических размеров L и кривая нормального распределения

Для того, чтобы определить, насколько полученная кривая рассеяния фактических размеров приближается к теоретической кривой

нормального распределения, обе кривые совмещаются в одинаковом масштабе.

На графике провести две вертикальные линии, ограничивающие поле допуска.

Суммируя табличные значения половины предельных площадей под кривой нормального распределения от t_i, находим вероятность получения годных деталей.

$$P = \Phi(t_1) + \Phi(t_2).$$

Ожидаемый общий процент брака определяется по следующей формуле: $P_1 = 100 - P$.

По формулам математической статистики определить вероятность получения брака, %.

Для случая смещения центра поля рассеяния от середины поля допуска определяется величина смещения центра для поля рассеяния по формуле.

,

$$\Delta L_{ц} = \bar{x} - \frac{L_{в} + L_{н}}{2} = 17{,}98 - \frac{18{,}03 + 17{,}92}{2} = 0{,}005\,\text{мм}$$

где $L_в$ *и* $L_н$ – координаты линий поля допуска.

Вероятность получения брака (P %) по верхнему пределу допуска (+):

$$P = 0{,}5 - \Phi\,(t)\cdot 100,\ \%.$$

По нижнему пределу допуска (–):

$$P = 0{,}5 - \Phi\,(t)\cdot 100,\ \%,$$

где Ф – функция Лапласа.

Значение аргумента определяется по формулам:

$$t_{в} = \frac{L_{в} - \bar{x}}{\sigma} = \frac{18{,}03 - 17{,}98}{0{,}04} = 1{,}25$$

$$t_{н} = \frac{L_{в} - \bar{x}}{\sigma} = \frac{17{,}92 - 17{,}98}{0{,}04} = -1{,}5.$$

Величина функции Лапласа определяется по таблицам математической статистики [табл. 3.3 в конце работы]:

$$P_{в} = (0{,}5 - 0{,}3944)\cdot 100 = 10{,}56\ \%\ ;$$

$$P_{н} = (0{,}5 - 0{,}4332)\cdot 100 = 6{,}68\ \%\ .$$

Для случая совмещения центра поля рассеяния с серединой поля допуска ($\Delta L_y = 0$):

$$P = \left[1 - 2\Phi\left\{\frac{L_в - L_н}{2 \cdot \sigma}\right\}\right] \cdot 100$$

$$P = \left[1 - 2\Phi\left\{\frac{18{,}03 - 17{,}92}{2 \cdot 0{,}04}\right\}\right] \cdot 100 = 1 - 2\Phi(1{,}375) = 16{,}94\ \%.$$

Определение процента брака по кривым рассеяния не позволяет установить момента появления брака, т. е. не отражает последовательность обработки. Этот недостаток можно восполнить путём построения точечных диаграмм.

Для построения такой диаграммы по оси абсцисс откладывают номера последовательно обрабатываемых деталей, а по оси ординат – фактические размеры каждой детали.

Содержание отчёта

В отчёте должно быть название работы, цель, оборудование, схема настройки, протоколы измерения, весь ход расчёта кривых распределения, выводы.

Таблица 3.3

Значение величины Ф(t)/2 (половины предельных площадей под кривой нормального распределения)

t	Ф(t)/2	t	Ф(t)/2	t	Ф(t)/2	t	Ф(t)/2
0,00	0,0000	0,90	0,3160	1,80	0,4640	2,70	0,4965
0,05	0,0200	0,95	0,3290	1,85	0,4560	2,75	0,4970
0,10	0,0400	1,00	0,3415	1,90	0,4715	2,80	0,4975
0,15	0,0595	1,05	0,3530	1,95	0,4743	2,85	0,4975
0,20	0,0795	1,10	0,3045	2,00	0,4775	2,90	0,4980
0,25	0,0985	1,15	0,3760	2,05	0,4800	2,95	0,4985
0,30	0,1180	1,20	0,3850	2,10	0,4820	3,00	0,49865
0,35	0,1370	1,25	0,3945	2,15	0,4840	3,10	0,4990
0,40	0,1555	1,30	0,4030	2,20	0,4860	3,20	0,4995
0,45	0,1735	1,35	0,4115	2,25	0,4880	3,30	0,4995
0,50	0,1915	1,40	0,4190	2,30	0,4895	3,40	0,4995
0,55	0,2090	1,45	0,4265	2,35	0,4905	3,50	0,49975
0,60	0,2255	1,50	0,4330	2,40	0,4920	3,60	0,49985
0,65	0,2420	1,55	0,4395	2,45	0,4930	3,70	0,4999
0,70	0,2580	1,60	0,4450	2,50	0,4940	3,80	0,49993
0,75	0,2735	1,65	0,4495	2,55	0,4945	3,90	0,49996
0,80	0,2680	1,70	0,4565	2,60	0,4955	4,00	0,4997
0,85	0,3025	1,75	0,4600	2,65	0,4960	5,00	0,5000

Литература

1. Егоров М. Е. и др. Технология машиностроения. М., 1976, 534 с.
2. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М. Машиностроение, 1979, 340 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА

Цель работы

Ознакомление с методиками определения жесткости технологической системы экспериментальными методами Определить жесткость токарного станка в 3–х точках по длине станины.

Краткие теоретические сведения

При обработке на металлорежущих станках технологическая система (ТС) подвергается упругим деформациям под действием сил, приложенных к ее звеньям. Это приводит к изменению настроенного положения между деталью и режущим инструментом.

Наибольшее влияние на изменение настроенного положения оказывает составляющая силы резания (P_y), направленная радиально к обрабатываемой поверхности.

Под влиянием силы резания в упругой системе, «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) возникают деформации, которые приводят к изменению положения режущей кромки относительно обрабатываемой детали (за счет этого изменяются размеры обрабатываемой детали, появляются отклонения от правильной геометрической формы и т. п.).

Под жесткостью системы СПИД понимается способность системы оказывать сопротивление действию сил, стремящихся её деформировать. Жесткость системы СПИД определяется отношением радиальной составляющей силы резания (Py) к величине смещения режущей кромки (y).

$$j = \frac{P_y}{y}$$

Жесткость системы СПИД имеет важное значение в технологии машиностроения, так как от неё зависит и точность, и производи-

тельность обработки. В настоящей работе определяется жесткость токарного станка.

Существует два метода определения жесткости: статический и динамический (производственный). В настоящей работе используется производственный метод. При этом методе жесткость определяется непосредственно в процессе обработки заготовки.

Оборудование:

1. Токарно-винторезный станок.
2. Специальные образцы (2 шт.).
3. Резцы проходные.
4. Микрометр.
5. Схема настройки.

1.

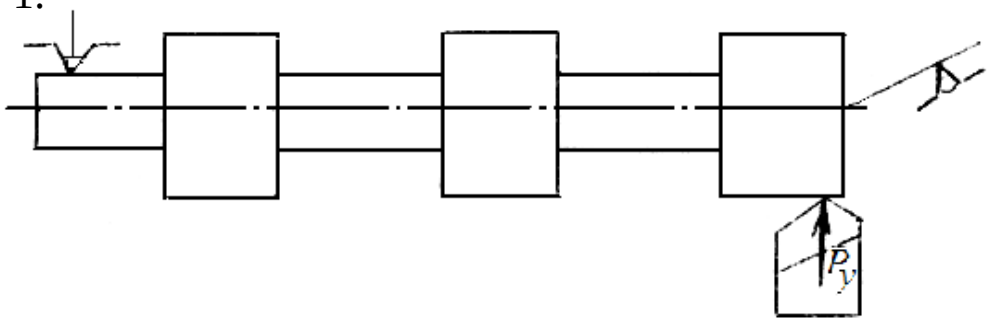


Рис. 4.1. Схема настройки

Порядок выполнения работы

1. Измеряется геометрия резца: γ, α, λ, φ, φ' (град), r (мм).
2. Определяется жесткость по методике № 1
3. Определяется жесткость по методике № 2.
4. Определяется износ резца $h_З$ (мм) после точения каждого образца.

Определение жесткости по методике № 1

В начале работы измеряется диаметр каждой ступени образца (d). Затем производится точение образца при подаче S = 0,2 мм/об., глубине резания t = 0,3 мм.

После точения с прямой подачей (резец движется от задней бабки к передней) производится измерение диаметров каждой ступени (d). Затем, не меняя положения резца, производится точение с обрат-

ной подачей (без врезания), после чего вновь повторно замеряются диаметры всех ступеней (d_0).

Вследствие наличия деформации в системе СПИД, происходящей под воздействием сил резания, при точении с обратной подачей резец также будет снимать стружку.

Данные опытов заносятся в таблицу – протокол №1 и 2.

Опыты проводятся на двух образцах равной длины.

Протокол № 1 (№ 2) для образца l =___ мм.

№ измерения	Диаметры ступеней, мм								
	У передней бабки			Посередине			У задней бабки		
	d	$d_П$	$d_О$	d	$d_П$	$d_О$	d	$d_П$	$d_О$
1									
2									
3									
Среднее									

Расчет жесткости производится по формуле

$$j = C_y \cdot S^{0,75} \cdot HB^{2,0} \left(\frac{d - d_n}{d_n - d_o} - 1 \right)$$

где $C_у$ – постоянный коэффициент; $C_у$ = 0,0027 при φ = 45°; γ = 0°; $\lambda = 0°$, r = 2 мм, $h_З$ = 2 мм.

Для резцов, имеющих другую геометрию, следует участь поправочные коэффициенте (см. приложение к лаб.работе 4).

Для образцов твердость –. HB = 156 (ст.20); HB = 179 (ст.30); HB = 217 (ст.40).

Определение жесткости по методике №2

В начале работы измеряются диаметры каждой ступени образца (d).

Затем по лимбу станка устанавливается заданная глубина резания ($t_З$).

После точения измеряется диаметр каждой ступеньки ($d_п$) и определяется фактическое значение глубины резания ($t_Ф$).

Вследствие деформации в системе СПИД $t_Ф$ не будет соответствовать $t_З$.

Данные опытов заносятся в таблицу – протокол № 3 (4). Опыты проводятся на двух образцах равной длины

Протокол № 3(4) для образца *l* =____мм

№ измере-ния	Результаты измерений, мм											
	У передней бабки				Посередине				У задней бабки			
	$t_з$	d	$d_п$	$t_Ф$	$t_з$	d	$d_п$	$t_Ф$	$t_з$	d	$d_п$	$t_Ф$
1												
2												
3												
Среднее												

Расчет жесткости производится по формуле

$$j = \frac{C_y \cdot s^{0,75} \cdot HB^{2,0} \cdot t_ф^{0,5}}{t_з - t_ф}$$

Значение коэффициента C_y принимается такое же, как и в предыдущей методике.

Приложение

Поправочные коэффициенты к определению коэффициента C_y

φ,°	30	45	60	75	90
$k_φ$	1,63	1,0	0,7	0,54	0,44

γ, °	–2	0	2	4	6
$k_γ$	1,1	1,0	0,98	0,85	0,78

λ, °	0	2	4	5
$k_λ$	1,0	1,1	1,2	1,25

$h_з$, мм	0	0,5	1,0	1,5	2,0
k_h	0,4	0,52	0,65	0,82	1,0

r, мм	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	2,0
k_r	0,41	0,57	0,66	0,76	0,81	1,0

Содержание отчета

В отчете должно быть название работы, цель, оборудование, схема настройки, протоколы намерений, необходимые расчеты и краткий вывод.

Литература

1. "Технология машиностроения", М. Е. Егоров и др. М. Высшая школа, 1976 – 526 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ТОКАРНО–ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА

Цель работы

Изучение методики определения геометрической точности узлов токарного станка в соответствии с ГОСТ 18097–93.

Краткие теоретические сведения

Точность обрабатываемых деталей во многом определяется точностью работы станка. Последняя в свою очередь зависит от многих условий: качества установки и выверки станка на фундаменте, степени износа его деталей, величины зазора в подвижных соединениях, прочности крепления и фиксации деталей и узлов и т.п. Для получения деталей правильной формы с точно выдержанными размерами необходимо, чтобы станок, на котором они изготовляются, имел требуемую точность.

Точность металлорежущих станков нормируется государственными стандартами.

Снижение требуемой точности станка приводит к появлению погрешностей у обрабатываемых деталей и получению брака.

Задание по работе:

Пользуясь данным руководством, следует ознакомиться с методикой проверки точности станка и произвести проверку, после чего дать заключение о его пригодности к дальнейшей работе.

Класс точности проверяемого станка – Н.

Необходимый инструмент и приспособления для выполнения работы:

1. Индикатор на стойке.
2. Комплект оправок из трех штук.
3. Линейка ≥ 300мм.
4. Микрометр.

Индикатор часового типа

Во втулке *1* индикатора (рис. 5.1) расположен мерительный штифт *2* с наконечником *3*. Перемещение штифта с помощью зубчатой передачи, расположенной в корпусе, передается на стрелку *4*, причем один оборот стрелки соответствует перемещению штифта на *1* мм. Число целых оборотов стрелки (целые мм) отсчитываются по шкале указателя оборотов *5*, а часть оборота (сотые доли мм) – по шкале *6*.

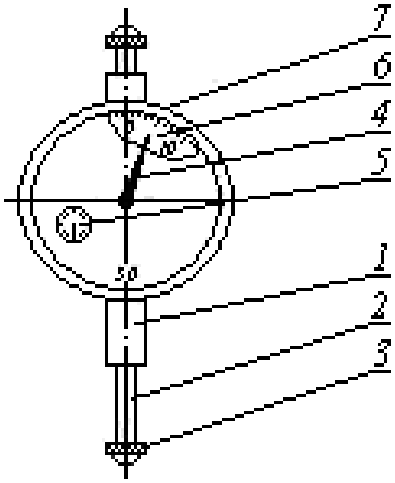


Рис. 5.1. Индикатор часового типа

Для установки индикатора на нуль, необходимо повернуть за ободок *7* циферблат до совпадения нулевого штриха шкалы *6* со стрелкой *4*.

Для замеров надо установить и закрепить стойку с индикатором напротив проверяемой поверхности и привести наконечник индикатора в соприкосновение с ней.

Индикатор при этом должен иметь натяг 1 – 2 оборота.

Ось мерительного штифта индикатора должна располагаться перпендикулярно проверяемой поверхности.

Порядок проверка точности станка

Проверка 1.1. Прямолинейность продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости.

Наибольшая длина перемещения: от 320 до 500 мм.

Допускаемое отклонение – 16 мкм в сторону от оси центров.

Проверка при помощи оправки и индикатора.

В центрах передней *4* и задней *5* бабок (рис. 5.2) устанавливают оправку *2* с цилиндрической измерительной поверхностью.

Резцедержатель должен быть расположен возможно ближе к оси центров станка.

На суппорте *1* (в резцедержателе) укрепляется индикатор *3* так, чтобы его измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

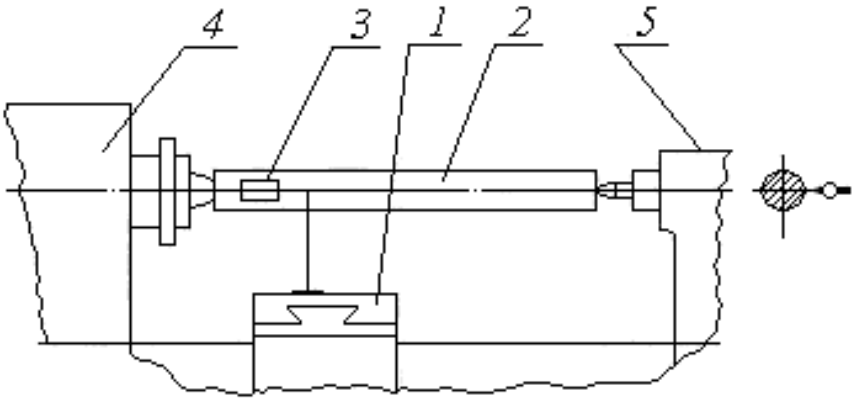


Рис. 5.2. Схема установки индикатора

Показания индикатора на концах оправки должны быть одинаковыми.

Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода.

Отклонения определяют как наибольшую алгебраическую разность показания индикатора.

Проверка 1.2. Прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости.

Наибольшая длина перемещения – от 320 до 500 мм.

Допуск – 20 мкм. Вогнутость не допускается.

Проверка при помощи оправки и индикатора *3*.

В центрах передней *4* и задней *5* бабок устанавливают оправку *2* с цилиндрической измерительной поверхностью. Резцедержатель должен быть расположен возможно ближе к оси центров станка.

На суппорте *1* (в резцедержателе) укрепляют индикатор *3* так, чтобы его измерительный наконечник касался верхней (нижней) образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

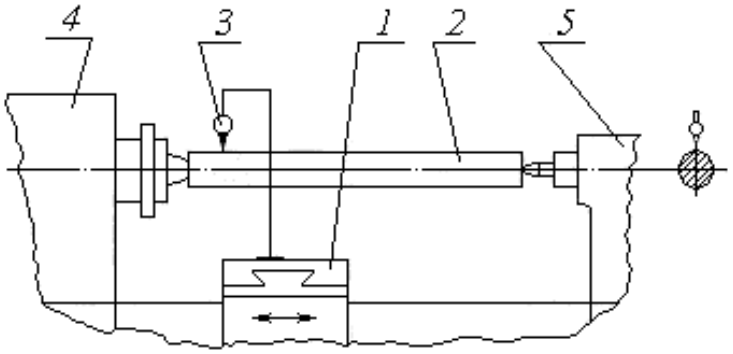


Рис. 5.3. Схема установки индикатора *3*

Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода.

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора (если показания индикатора на концах оправки не одинаковое, то из результатов отклонений следует вычесть погрешность, вызванную установкой оправки).

Замеры повторяются три раза.

Проверка 1.3. Радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон (рис. 5.4).

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия до 250 мм.

Допуск – 8 мкм.

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия – от 50 до 800 мм.

Допуск – 10 мкм.

На неподвижной части станка укрепляют индикатор *1* так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности *2* и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

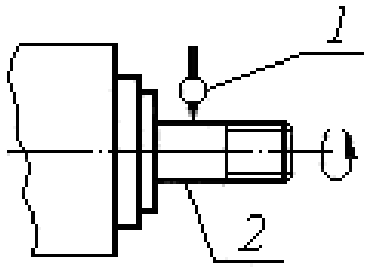


Рис. 5.4. Схема установки индикатора *1*

Шпиндель приводят во вращение в рабочем направлении. Шпиндель при измерении должен сделать не менее двух оборотов. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора.

Проверка 1.4. Радиальное биение конического отверстия шпинделя передней бабки, проверяемое:

а) у торца;

б) на длине *J*.

Для 1.4, *а* допуск – 10 мкм.

Для 1.4, *б* допуск – 16 мкм на *J* = 200 мм.

В отверстие шпинделя *1* (рис. 5.5) вставляют контрольную оправку *3* с цилиндрической измерительной поверхностью.

На неподвижной части станка укрепляют индикатор 2 так, чтобы его измерительный наконечник касался измерительной поверхности оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

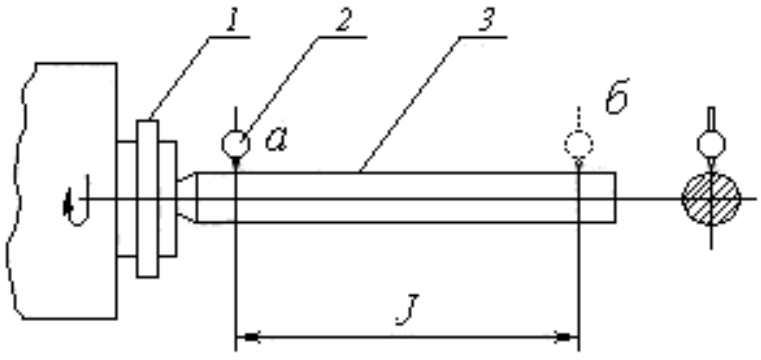


Рис. 5.5. Схема установки индикатора 2

Шпиндель приводят во вращение (в рабочем направлении).

При каждом измерении шпиндель должен сделать не менее двух оборотов.

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в каждом положении.

Проверка 1.5. Параллельность оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта:

а) в вертикальной плоскости;

б) в горизонтальной плоскости.

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия до – 250 мм.

Для 1.5, *а* допуск 12 мкм на J = 150 мм.

Для 1.5, *б* допуск 6 мкм на J = 150 мм.

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия – от 250 до 400 мм

Для 1.5, *а* допуск 16 мкм на J = 200 мм.

Для 1.5, *б* допуск 8 мкм на J = 200 мм.

В отверстие шпинделя *1* вставляют контрольную оправку *3* с цилиндрической измерительной поверхностью.

На суппорте *4* (в резцедержателе) (рис. 5.6) укрепляют индикатор *2* так, чтобы его измерительный наконечник касался измерительной поверхности оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода J.

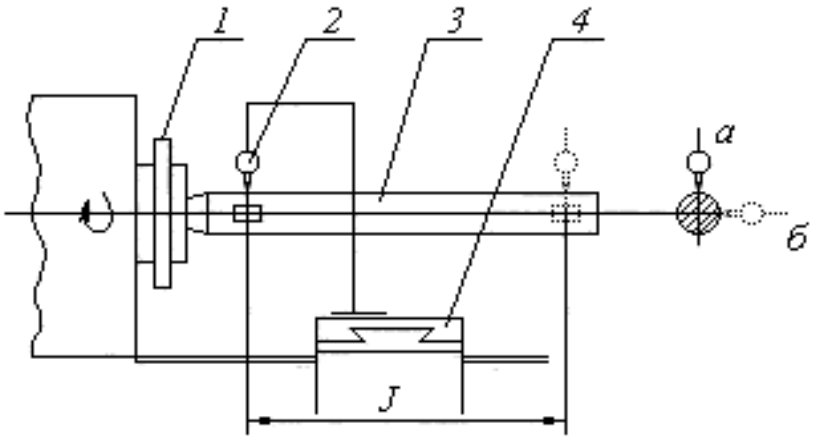


Рис. 5.6. Схема установки индикатора 2

Измерения производят по двум диаметрально противоположным образующим оправки (при повороте шпинделя на 180°).

Отклонение определяют как среднюю арифметическую результатов не менее чем двух измерений в каждой плоскости, каждый из

которых определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при перемещении суппорта.

Проверка 1.6. Параллельность оси конического отверстия пиноли задней бабки перемещению суппорта:

а) в вертикальной плоскости;

б) в горизонтальной плоскости.

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия – до 250 мм.

Для 1.6, *а* допуск 16 мкм на J = 150 мм.

Для 1.6, *б* допуск 16 мкм на J = 150 мм.

Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия – от 250 до 400 мм.

Для 1.6, *а* допуск 20 мкм на J = 200 мм.

Для I.6, *б* допуск 20 мкм на J = 200 мм.

Заднюю бабку с полностью вдвинутой пинолью устанавливают на расстоянии от торца шпинделя до торца пиноли примерно равном наибольшему диаметру обрабатываемого на станке изделия.

Заднюю бабку и пиноль закрепляют.

В отверстие пиноли *3* (рис. 5.7) вставляют контрольную оправку *1* с цилиндрической измерительной поверхностью.

В суппорте *4* устанавливают индикатор *2* так, чтобы его измерительный наконечник касался измерительной поверхности оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

Суппорт перемешают в продольном направлении на длину J.

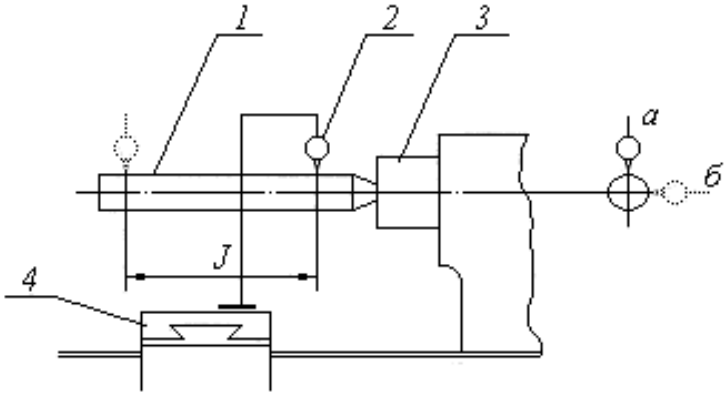


Рис. 5.7. Схема установки индикатора 2

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в указанных положениях суппорта.

Содержание отчета:

1. Станок: ...
2. Модель станка: …
3. Наибольший диаметр обрабатываемого на станке изделия: …
4. Сводная таблица (табл. 5.1).
5. Заключение об износе узлов станка.

Таблица 5.1

Результаты измерения точности станка модели …

Проверка	Что проверяется	Эскиз	Допуск в мкм	Результаты замеров	Среднее арифметическое	Величина отклонения от допустимого в мкм
1.1	Прямолинейность продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости		16	1) 2) 3)		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РАЗМЕРА ПО ЛИМБУ СТАНКА

Цель работы

Ознакомиться с методикой оценки погрешности при установке размера по лимбу станка.

Краткие теоретические сведения

При изготовлении деталей на металлорежущих станках часто приходится пользоваться лимбами, дающими возможность отсчитывать необходимые перемещения узлов станка. При пользовании лимбами (даже при перемещении на целое число делений лимба) не представляется возможным точно получить необходимое перемещение ввиду влияния погрешности установки.

Погрешность установки размера по лимбу станка является случайной погрешностью и зависит от многих переменных факторов: ве-

личины силы трения в направляющих, жесткости цепи перемещения, износа винтовой пары, зрения рабочего, освещенности рабочего места, ширины штрихов на шкале лимба, неточности шага винта, неточности нанесения делений на лимбе и др.

Величину погрешности установки по лимбу станка можно найти на основании наблюдений, построения кривых распределения и их математической обработки.

Для получения данных, по которым строится кривая распределения, необходимо многократно устанавливать узел станка в одно и то же положение по лимбу, фиксируя каждый раз измерительным прибором фактическое положение узла.

При такой методике проведения работы не учитываются составляющие погрешности установки, обусловленные неточностью шага винта и неточностью нанесения делений лимба, но значительно упрощается техника проведения эксперимента.

Указанные составляющие общей погрешности установки, как известно, не могут иметь значительной величины, а поэтому такое упрощение не вносит заметной ошибки в результаты эксперимента.

Порядок проведения работы

Работу следует выполнять в такой последовательности:

1. Установить лимб станка на выбранное деление.
2. Закрепить на неподвижном узле станка индикаторную стойку. Измерительный наконечник индикатора должен касаться перемещающейся (при опыте) детали станка (рис. 6.1). Индикатор может быть установлен на любое деление с некоторым натягом.
3. С помощью винта (поворачивая рукоятку винта в обратном направлении) отвести назад (на 0,5 – 1 оборот винта) перемещающийся узел так, чтобы обязательно был выбран зазор в винтовой паре.
4. Поворачивая рукоятку винта, переместить узел станка до совпадения риски выбранного деления лимба с неподвижной отметкой. Окончательную доводку совпадения рисок произвести легким постукиванием руки по рукоятке винта. Записать показание индикатора.
5. Многократно (80 – 120 раз) повторить п. 3 и 4. Показания индикатора записать в табл. 6.1

6. Построить точечную диаграмму, в которой по оси абсцисс откладываются порядковые номера наблюдений, а по оси ординат – отсчет при наблюдении.
7. Произвести разбивку на интервалы и построить опытную кривую распределения.
8. Для удобства обработки результатов наблюдений показания индикатора после построения точечной диаграммы сгруппировать и свести в табл. 6.2.

Таблица 6.1

Результаты измерений

Номер установки узла	Показания индикатора, мкм	Номер установки узла	Показания индикатора, мкм

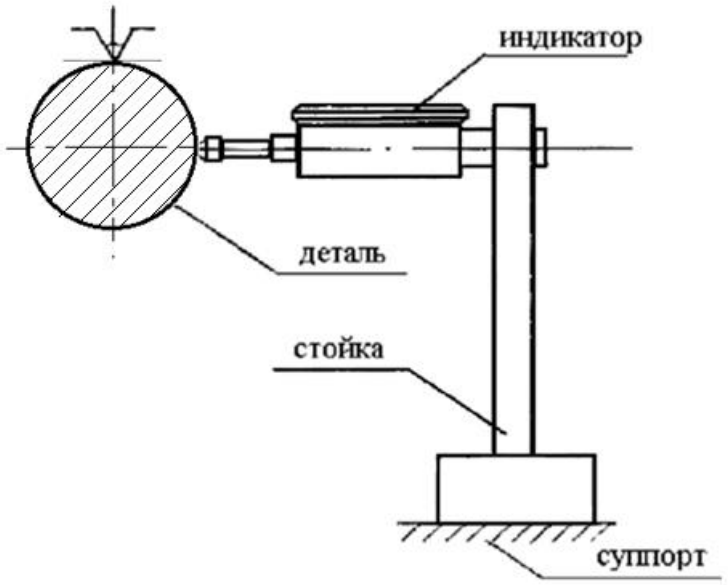


Рис. 6.1. Крепление индикатора для установки размера по лимбу станка

9. Подсчитать значения $\bar{x}$, σ и 6σ

10. Свести в табл. 6.3 данные для построения кривой нормального распределения.

11. Построить кривую нормального распределения, совместив ее с опытной кривой распределения.

При построении теоретической кривой абсциссы откладывать от среднего арифметического значения $\bar{x}$.

12. Составить отчет.

Таблица 6.2

Результаты расчетов

Границы интервала измерения	Среднее значение Интервала, $x_{i\text{ср}}$	Частота, m_i	$x_{i\text{ср}} \cdot m_i$	$x_{i\text{ср}} - \overline{x}$	$(x_{i\text{ср}} - \overline{\overline{x}})^2$
$x_1 - x_2$ $x_2 - x_3$ и т.д.					
			$\sum x_{i\text{ср}} \cdot m_i$		$\sum (x_{i\text{ср}} - \overline{x})^2$

Таблица 6.3

Данные для построения кривой нормального распределения

x	$z = \frac{x}{\sigma}$	y	$m_i = y\frac{n\Delta x}{10^4 \cdot \sigma}$
0 $0{,}5 \cdot \sigma$ и т. д.	0		

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены следующие данные:

1. наименование работы;
2. наименование, модель и характеристика станка;
3. шаг винта перемещений и цена деления лимба;
4. схема измерения погрешности;
5. данные об измерительных приборах;
6. результаты опытов (по форме табл. 6.1, 6.2, 6.3);
7. построение точечной диаграммы и ее анализ, определение наличия систематической постоянной или систематической закономерной погрешности;
8. расчет величин $\overline{x}$, σ и 6σ;
9. графическое построение опытной кривой распределения и кривой нормального распределения;
10. выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7
ВЫБОР СХЕМЫ ТОЧЕНИЯ СТУПЕНЧАТОГО ВАЛИКА

Цель работы

Ознакомиться со схемами обработки ступенчатых валиков при работе на ненастроенных станках.

Краткие теоретические сведения

Обтачивание валов и других деталей (тел вращения) обычно разделяется на две операции*:* *черновое* (предварительное) и *чистовое* (окончательное) *обтачивание*. При черновом обтачивании снимают большую часть припуска; обработка производится с большой глубиной резания и большой подачей.

Рассмотрим несколько схем обточки ступенчатых валиков. При черновой обработке производительность зависит от выбора схемы, а при чистовой обработке – от характера простановки размеров и точности отдельных ступеней.

Черновое (предварительное) обтачивание вала, имеющего несколько ступеней и изготовленного из проката, можно выполнять по различным схемам обработки. На рис. 7.1 представлены три схемы обтачивания ступенчатого вала (цифрами обозначены порядковые номера переходов, прописными буквами – ступени вала). При обтачивании по схеме *А* каждую ступень вала обтачивают, начиная с торца, и таким образом всю обработку вала производят за три прохода: за 1-й проход обтачивают ступени *а* и *б* и *в*, за 2-й проход – ступени *а* и *б* и за 3-й проход – ступень *а*.

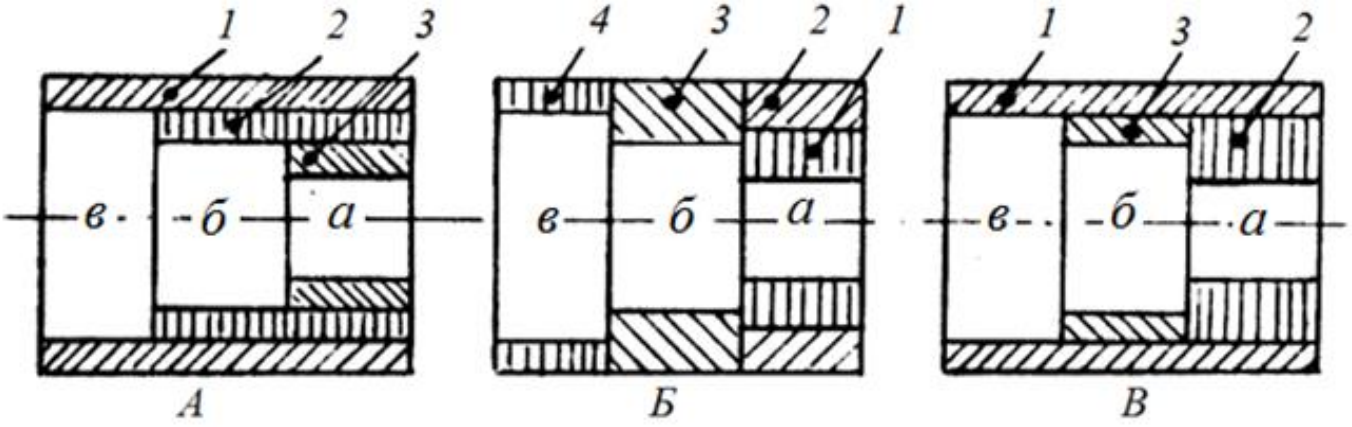


Рис. 7.1. Схемы точения образцов (*1, 2, 3 ,4* – обозначение последовательности снятия припуска – переходы)

При обтачивании по схеме *Б* каждую ступень вала обтачивают отдельно: ступень *а* вследствие большой глубины резания обтачивается за два прохода (1-й и 2-й); ступень *б* – за один проход (3-й) и ступень *в* – за один проход (4-й).

Комбинированная схема обработки *В* предусматривает обтачивание ступени *в* за 1-й проход, начиная с торца, ступень *а* обтачивается за 2-й проход и ступень *б* – за 3-й проход.

На выбор той или иной схемы влияют величина припусков на отдельных ступенях вала и соотношение размеров ступеней: диаметра и длины. Схема, обеспечивающая наименьшее время обработки, наиболее выгодна.

Оборудование

1. Токарно-винторезный станок.
2. Резцы проходные с $\varphi = 90°$.
3. Образцы – три валика.
4. Измерительный инструмент – штангенциркуль, цена деления 0,1.
5. Схема установки заготовок (Рис. 7.1).

Порядок выполнения работы

1. Подготовить заготовки. Подрезать торцы (центровать, при необходимости).
2. Установить требуемый режим обработки (n = 450 об/мин, S = 0,15 мм/об, t – в зависимости от схемы снятия припуска).
3. Последовательно обточить три заготовки по схемам А, Б и В (см. рис. 7.1, табл. 7.1).
4. Время обработки фиксируется секундомером.
5. Расчетное время определяется по формуле: $t_0 = \frac{l}{n \cdot S}$, где l - принимать с учетом врезания и перебега инструмента.
6. Результаты замеров занести в таблицу 7.2.

Настройка на размер осуществляется путем пробных ходов.

Вспомогательное время учитывается только на потери, связанные с возвратом инструмента в исходное состояние и взятие пробных стружек.

Таблица 7.1

Последовательность снятия припуска

Переходы	А	Б	В
	t =		
1	0,5	0,75	0,5
2	0,5	0,75	1,0
3	0,5	1,0	0,5
4	-	0,5	-

Содержание отчета

1. Описать условия работы.
2. Привести результаты замеров.
3. Рассчет основного времени по каждой ступени.
4. Сделать вывод о целесообразности применения той или иной схемы точения.

Таблица 7.2

Результаты эксперимента

Схема точе-	Время обработки, мин (с)												Суммарное время	
	1–я ступень				2–я ступень				3–я ступень				основ-ное	опера-тивное
	основное		вспомогательное		основное		вспомогательное		основное		вспомогательное			
	Хрон.	Расч.	Хрон.	Расч.	Хрон.	Расч.	Хрон.	Расч.	Хрон.	Расч.	Хрон.	Расч.	Хрон. / Расч.	Хрон. / Расч.
А														
Б														
В														

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ (ГОСТ 2789-73).....3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ПРИ ТОЧЕНИИ НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК.....14

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ.....21

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА.....31

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ТОКАРНО–ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА.....35

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РАЗМЕРА ПО ЛИМБУ СТАНКА.....42

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ВЫБОР СХЕМЫ ТОЧЕНИЯ СТУПЕНЧАТОГО ВАЛИКА.....46

Учебное издание

Татьяна Петровна Глинникова

Сергей Александрович Волегов

Лабораторный практикум
по дисциплине
«Основы технологии машиностроения»
для студентов специальностей
«Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС)
направление 150700.62 «Машиностроение» и «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (ТМО)
направления 130600 – «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» *очного и заочного обучения*

Редактор *******

Подписано в печать **.0*.2014 г. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. *,0. Уч.-изд. л. *,4. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ



Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ высшего профессионального образования

Хазин М. Л.,Глинникова Т. П., Волегов С. А.

Технология конструкционных материалов

Учебное пособие по практической и самостоятельной работе по темам «Обработка металлов давлением», «Сварка», «Обработка металлов резанием» для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 (150700)- «Машиностроение», 15.03.02 (151000) - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования (15.02.01) 151031 - «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Хазин М. Л., Глинникова Т. П., Волегов С. А.

Технология конструкционных материалов

Учебное пособие по практической и самостоятельной работе по темам
«Обработка металлов давлением», «Сварка», Обработка металлов резанием»
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 - «Машиностроение»,
15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования
15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного и заочного обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Рецензент: *А. П. Комиссаров*, д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 18 ноября 2018 г. (протокол № 3) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Хазин М. Л., Глинникова Т. П., Волегов С. А.

Технология конструкционных материалов: Учебное пособие по практической и самостоятельной работе по темам «Обработка металлов давлением», «Сварка», «Обработка металлов резанием», для студентов направления бакалавриата: 150700 – «Машиностроение», 151000 – «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования 151031 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного и заочного обучения / М. Л. Хазин, Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 60 с.

Учебное пособие составлено для проведения практических и самостоятельных работ по дисциплине "Технология конструкционных материалов" В пособии изложены краткие теоретические сведения о методах обработки металлов давлением, сваркой, резанием, приведены задания по каждой теме в соответствии с рабочей программой дисциплины «Технология конструкционных материалов», перечень основной и дополнительной литературы. В приложении приводятся справочные таблицы, необходимые для решения задач.

©

Хазин М. Л., Глинникова Т. П., Волегов С. А.,
© Уральский государственный

1. Обработка металлов давлением

Краткая теория. Обработкой металлов давлением (ОМД) называют группу технологических процессов, в результате которых под влиянием приложенных внешних сил происходит изменение формы заготовок без нарушения их сплошности.

Основной задачей всех видов обработки давлением является придание металлу желаемой формы посредством процесса пластической деформации. В результате пластической деформации изменяются не только форма и размеры заготовки, но и структура и свойства исходного металла.

В промышленности применяют шесть основных видов обработки давлением: прокатку, прессование, волочение, ковку, объемную штамповку и листовую штамповку.

При обработке металлов давлением в заготовке под действием внешних сил возникают напряжения. Если они невелики, происходит упругая деформация, при которой атомы металла смещаются от положений устойчивого равновесия на очень малые расстояния, не превышающие межатомные. После снятия нагрузки атомы вследствие межатомного взаимодействия возвращаются в исходные положения устойчивого равновесия. Форма тела полностью восстанавливается и никаких остаточных изменений в металле не происходит. С увеличением внешней нагрузки напряжения в заготовке растут, что ведет к смещению атомов от положений устойчивого равновесия на расстояния, значительно превышающие межатомные. После снятия нагрузки атомы занимают новые места устойчивого равновесия, поэтому форма тела не восстанавливается. **Такое необратимое изменение формы тела называется пластической деформацией.** Способность металла подвергаться пластической деформации называется **пластичностью**.

1.1. Волочение

Волочение это процесс обработки давлением, при котором пластическая деформация заготовки в холодном состоянии осуществляется за счет ее протягивания через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой, или фильерой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля.

Схема волочения прутка и трубы и примеры профилей, получаемых волочением, представлены на рис. 1.1. Волочение труб можно производить без оправки и на оправке, если требуется уменьшить наружный диаметр и толщину стенки.

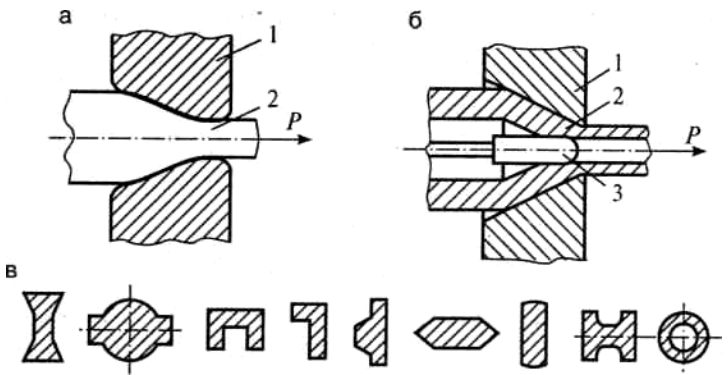


Рис. 1.1. Схемы волочения прутка (а), трубы (б) и примеры профилей, получаемых волочением (в): 1 — фильера; 2 — заготовка; 3 — оправка

В связи с тем что на выходящем из волоки конце прутка или трубы пластическая деформация недопустима, величина деформации за один проход ограничена и коэффициент вытяжки не должен превышать 1,05...1,5, а сама она осуществляется в холодном состоянии.

Формулы расчета волочения

Общая вытяжка заготовки за весь цикл обработки

$$\mu_{общ} = \left(\frac{d_0}{d_k}\right)^2$$

Общая истинная деформация заготовки

$e_{общ} = \sum e_i = n \cdot e_i = ln\ \mu_{общ}$

Предельная истинная деформация металла заготовки

$$e_{пред} = ln\frac{1}{1 - \psi}$$

Количество проходов для достижения

$$n_{отж} = \frac{e_{пред}}{e_i}$$

Диаметр пояска волоки после 1 прохода

$$d_{П1} = d_0\sqrt{\frac{1}{\mu_1}}$$

Истинная деформация за i-й проход $e = ln\frac{d_k}{d_0}$;

Истинное сужение $\varphi = ln\frac{F_0}{F_k}$;

$e = e_1 + e_2 + e_3 + \ldots + e_n$;

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \ldots + \psi_n$$

Расшифровка величин, входящих в расчетные формулы:

d_0; d_K – начальный и конечный диаметр прутка
e_i – истинная деформация заготовки за i- проход;
n – число проходов;
ψ – относительное сужение металла заготовки за i- проход;
μ_1 – вытяжка заготовки за проход
F_0 и F_K – начальная и конечная площадь основания поковки, мм^2

Задача № Д.1.1

Определить количество проходов n заготовки, необходимых для получения волочением прутка диаметром d_K (мм) из заготовки диаметром d_0 (мм). Допустимая вытяжка за проход для материала заготовки составляет μ_i. Определить вытяжку за последний проход, чтобы выдержать заданный диаметр готового изделия d_K.

Варианты исходных данных к задаче №Д.1.1

вариант	d_0	d_K	μ_i	вариант	d_0	d_K	μ_i
1	10	3,0	1,2	11	14	5,0	1,2
2	10	2,5	1,4	12	14	4,0	1,4
3	10	1,0	1,4	13	14	3,0	1,4
4	16	4,0	1,25	14	15	5,0	1,25
5	16	3,0	1,45	15	15	4,0	1,45
6	16	2,0	1,45	16	15	3,0	1,45
7	18	4,0	1,15	17	17	6,0	1,15
8	18	3,0	1,2	18	17	5,0	1,2
9	18	2,0	1,2	19	17	4,0	1,2
10	20	5,0	1,2	20	20	6,0	1,2

Задача № Д.1.2

Обосновать необходимость промежуточного отжига заготовки при волочении прутка диаметром d_K (мм) из заготовки диаметром d_0 (мм). Определить расчетом после какого прохода необходим рекристаллизационный отжиг, если предельная пластичность металла составляет ψ (%), а допустимая вытяжка металла за проход - μ_i Определить также количество отжигов за полный цикл обработки.

Варианты исходных данных к задаче № Д.1.2

вариант	d_0	d_K	μ_i	ψ	вариант	d_0	d_K	μ_i	ψ

1	12	3,0	1,25	50	11	14	5,0	1,2	50
2	12	2,5	1,3	55	12	14	4,0	1,4	55
3	12	1,5	1,2	60	13	14	3,0	1,4	60
4	14	4,0	1,4	50	14	15	5,0	1,25	50
5	14	3,0	1,35	55	15	15	4,0	1,45	55
6	14	3,0	1,2	60	16	15	3,0	1,45	60
7	16	4,0	1,4	50	17	17	6,0	1,15	50
8	16	5,0	1,35	55	18	17	5,0	1,2	55
9	16	4,0	1,25	60	19	17	4,0	1,2	60
10	18	3,0	1,15	50	20	20	6,0	1,2	50

Задача № Д.1.3

Определить необходимое число проходов n и диаметр d_{in} (мм) калибрующего пояска волоки на отдельных проходах при волочении прутка диаметром d_K (мм) из заготовки диаметром d_0 (мм). Допустимая вытяжка металла заготовки за проход составляет μ_i.

Варианты исходных данных к задаче № Д.1.3

вариант	d_0	d_K	μ_i	вариант	d_0	d_K	μ_i
1	16	14	1,25	11	15	13	1,25
2	16	12	1,30	12	15	12	1,30
3	16	13	1,20	13	15	11	1,20
4	18	15	1,25	14	17	15	1,25
5	18	14	1,30	15	17	14	1,30
6	18	16	1,20	16	17	13	1,20
7	20	17	1,25	17	19	17	1,25
8	20	16	1,30	18	19	16	1,30
9	10	6,5	1,25	19	9	15	1,25
10	22	20	1,15	20	20	18	1,15

1.2. Ковка

Ковка — один из способов обработки металлов давлением, при котором инструмент оказывает многократное воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, постепенно приобретает заданную форму и размеры. Различают ковку ручную, применяемую иногда при мелких ремонтных работах и выполняемую с помощью наковальни и кувалды, и машинную, осуществляемую с помощью молотов и прессов.

К основным операциям машинной ковки относятся осадка, протяжка, прошивка, гибка, сварка, скручивание, отрубка и раскатка (рис. 1.20).

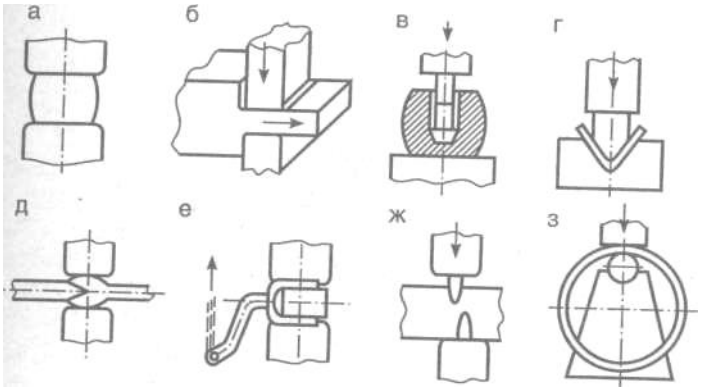


Рис. 1. Схема основных операций машинной ковки: а – осадка; б – протяжка; в – прошивка; г – гибка; д – сварка; е – скручивание; ж – отрубка; з – раскатка

Осадка — уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Осадку производят бойками или осадочными плитами. Заготовки, у которых отношение высоты к диаметру более 2,5, осаживать не рекомендуется во избежание возможного продольного искривления. Осадка части заготовки называется **высадкой**. Операции машинной ковки выполняют на различных типах молотов и гидравлических прессах

Формулы расчета осадки

Диаметр осаженной поковки

$$d_{пок} = d_{заг}\sqrt{(h_{заг} / h_{пок})}, \quad \text{мм}$$

Удельное усилие при осадке (формула Зибеля)

$$\beta = \sigma_B + \left(\mu \frac{d_{пок}}{3h_{пок}} \right), \ \text{кг/мм}^2$$

Расчетное удельное усилие при осадке

$$P_р = \sigma_В \cdot W \cdot \psi_м, \quad \text{МПа}$$

Усилие деформирования при осадке

$$P_Д = 10\, P_р \cdot F_{пок}, \quad \text{Н}$$

Масса падающих частей молота

$$G_n = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_{Bt} \cdot \psi_м \cdot W\left(1 + \mu \frac{d_{пок}}{3h_{пок}}\right)\varepsilon_n \cdot V_{пок}, \quad \text{кг}$$

Работа деформирования поковки при средней температуре осадки

$$A_{р.х} = W \cdot \psi_м \cdot \sigma_{Btct} \cdot V_{пок}\left[ln\frac{h_{пок}}{h_{заг}} + \frac{2\mu}{9}\left(\frac{d_{пок}}{h_{пок}} - \frac{d_{заг}}{h_{заг}}\right)\right], \quad \text{Дж}$$

Энергия одного удара молота

$$L = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot G_n, \ \text{Дж}$$

Число ударов молота

$$n = \frac{A_{р.д.}}{L \cdot \eta} .$$

Расшифровка величин, входящих в расчетные формулы

$d_{пок}$; $h_{пок}$; $d_{заг}$; $h_{заг}$, – размеры цилиндрической поковка и заготовки, соответственно;

σ_{Bt}, σ_{Blcp} – предел прочности материала поковки при температуре обработки;

$\mu = 0,3$ – коэффициент трения на торцах заготовки при осадке;

W – скоростной коэффициент; $W = 1$ - при осадке на прессе; $W = 2,5$ - при осадке на молоте;

$\psi_м$ – масштабный коэффициент (табл.1);

$V_{пок}$ – объем поковки, м^3;

η – коэффициент полезного действия молота , $\eta = 0,8$;

F – площадь основания поковки, м^2, F=

Таблица 1

Масштабный коэффициент $\psi_м$ для определения усилия деформирования при обработке давлением

Масса поковки, кг	0 - 200	1500 - 8000	60000 - 80000	120000 -200000
$\psi_м$	10	9 - 8	7 - 6	5 - 4

Задача № Д.1

Определить усилие деформирования $P_Д$ гидравлического ковочного пресса, необходимое для осадки стальной заготовки размерами d_0 (мм), h_0(мм) до высоты $h_{пок}$(мм). Температура окончания осадки $T = 1100$ °С.

Варианты исходных данных к задаче № Д.1

№ вар	Марка стали	d_0	h_0	$h_{пок}$	№ вар	Марка стали	d_0	h_0	$h_{пок}$
1	45	1040	2100	950	11	12Х18 Н12	1040	2100	950
2	40Х	1100	2200	970	12	30	1100	2200	970
3	20	1200	2300	1000	13	30ХГС	1200	2300	100 0

4	ЗОХГС	1040	2150	960	14	30	1040	2150	960
5	45	1100	2250	950	15	40Х	1100	2250	950
6	40Х	1200	2350	970	16	20	1200	2350	970
7	20	1040	2100	1000	17	12Х18 Н12	1040	2100	1000
8	30ХГС	1100	2200	960	18	30	1100	2200	960
9	45	1200	2300	950	19	40Х	1200	2300	950
10	40Х	1040	2100	970	20	12Х18 Н12	1040	2100	970

Задача № Д.2.2

Определить массу падающих частей $G_п$ молота и число ударов n, необходимых для осадки стальной заготовки с начальными размерами d_0 (мм), h_0 (мм) до высоты $h_{пок}$ (мм). Расчет $G_п$ выполнить для температуры окончания ковки, расчет n выполнить для средней температуры ковки.

Варианты исходных данных к задаче № Д.2.2

№ вар	Марка стали	d_0	h_0	$h_{пок}$	№ вар	Марка стали	d_0	h_0	$h_{пок}$
1	45	100	140	70	11	12Х18Н12	100	140	70
2	40Х	120	300	80	12	30	120	300	80
3	20	150	350	100	13	ЗОХГС	150	350	100
4	ЗОХГС	100	150	80	14	30	100	150	80
5	45	120	250	70	15	40Х	120	250	70
6	40Х	130	200	100	16	20	130	200	100
7	20	110	210	80	17	12Х18Н12	110	210	80
8	ЗОХГС	120	250	120	18	30	120	250	120
9	45	90	80	90	19	40Х	130	180	90
10	40Х	100	150	80	20	12Х18Н12	100	150	80

2. Сварка

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании.

Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При *сварке плавлением* атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки, так, чтобы получилась смачивающая их, общая ванна. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в одно целое. Как правило, в жидкую ванну вводят дополнительный металл, чтобы полностью заполнить зазор между деталями, но возможна сварка и без него.

Нагрев свариваемых деталей осуществляется разными способами: электрической дугой, газокислородным пламенем, пропусканием тока, лазером и т.д. По-разному обеспечиваются защита зоны сварки от воздействия воздуха и ее принудительная деформация.

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники.

Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис.2.1):

- сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом *1* дугой прямого действия *2* (рис. 2.1.а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3*, либо с применением присадочного металла *4;*
- сварка плавящимся электродом (металлическим) *1* дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 2.1.б);
- сварка косвенной дугой *5*, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 2.1.в);
- сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 2.1.г).

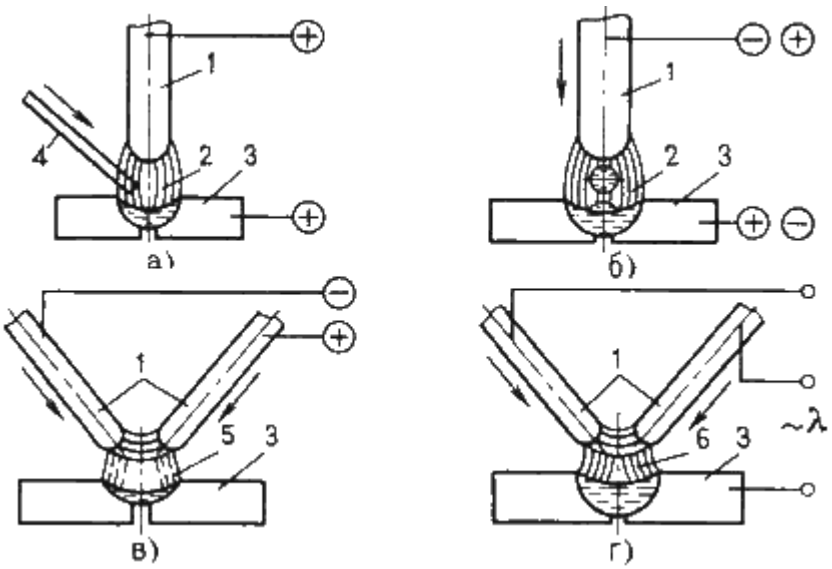


Рис. 2.1. Схемы дуговой сварки

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом дуга горит между стержнем электрода и основным металлом.

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы.

Электроды для РДС представляют собой проволочные стержни с нанесенным покрытием. Стержень электрода изготовляют из специальной сварочной проволоки из стали повышенного качества. ГОСТ 2246-70 предусматривает 56 марок стальной сварочной проволоки диаметром 0,3 – 12 мм. Все марки сварочной проволоки разделяют на 3 группы: углеродистую, легированную и высоколегированную.

По назначению стальные электроды по ГОСТ 9466-75 подразделяют на 4 класса:

- для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей (ГОСТ 9467-75);
- для сварки теплоустойчивых сталей (ГОСТ 9467-75);
- для сварки высоколегированных сталей (ГОСТ 10052-75);

- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (ГОСТ 1051-75).

Внутри каждого класса электроды делятся на типы (всего 73 типа). В маркировке указывается тип электродов, начинающийся с буквы Э, затем следуют цифры, которые указывают минимальный гарантированный предел прочности в кг/мм^2 . Например, Э42 ($\sigma_B \approx$ 420 МПа), Э50 (σ_B = 500 МПа). Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрено девять типов электродов (Э 38, Э 42, Э 42А, Э 46, Э 46А, Э 50, Э 50А, Э 55, Э 60); для сварки легированных и конструкционных сталей повышенной и высокой прочности пять типов (Э 70 , Э 85 , Э 100 , Э 125, Э 150) (табл. 5).

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных сталей состоит из обозначения марки электрода, типа электрода, диаметра стержня, типа покрытия, номера ГОСТа.

Пример: УОНИ – 13/45 – Э42А – 4,0 – Ф ГОСТ 9467-75.

Расшифровка:

УОНИ – 13/45 – марка электрода;

Э 42А - тип электрода (Э – электрод для дуговой сварки; 42 – минимальный гарантированный предел прочности металла шва в кгс/мм^2; А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва);

4,0 – диаметр электродного стержня в мм;

Ф – фтористокальциевый тип покрытия.

Марка электрода (УОНИ – 13/45, АН-1, АНО-1, 03С-6 и др.) характеризует также его технологические свойства: род и полярность тока, возможность сварки в различных пространственных положениях (оговорены в ГОСТе и справочной литературе по сварке).

2.2. Ручная сварка покрытыми электродами

Для обеспечения высокого качества шва и высокой производительности необходимо выдерживать при сварке оптимальную величину сварочного тока. Он рассчитывается по формуле

$I_{св.} = K \cdot d_э$,

где $d_э$ – диаметр сварочной проволоки, мм.

При сварке в нижнем положении коэффициент K = 40 ... 60 для стержня электрода из низкоуглеродистой стали, K = 35 ... 40 для стержня электрода из высокоуглеродистой стали. Для вертикальных швов сварочный ток $I_{св}$ уменьшают на 10 ... 15 %, для потолочных – на 15 ... 20 %. Интервал изменения Iсв = 150 ... 400 А, напряжение U = 16 ... 30 В. Диаметр электрода $d_э$ выбирают равным толщине свариваемой заготовки.

Для пластин с толщиной h < 10 мм сварной шов выполняется однослойным, при h > 10 мм – многослойным, т. е. заполнение сварных швов большой толщины производится за несколько проходов электрода. Чтобы обеспечить качество шва на всю толщину свариваемых изделий, производится разделка кромок свариваемых поверхностей. При сварке пластин толщиной h менее 6 мм разделка кромок не производится, при h > 6 мм выполняется разделка под углом в 30°.

Ручная сварка применяется для коротких швов, криволинейных, любых пространственных, в труднодоступных местах при монтаже и сборке сложных конструкций. Ток и производительность наплавки ограничены, так как при большом токе стержень электрода нагревается и покрытие отслаивается. Плотность тока находится в пределах 10 ... 20 А/мм^2.

Выполнение задания

Учитывая заданную марку стали и временное сопротивление при растяжении стали, (табл. 1) выберите тип электрода (табл. 5). Если сварное соединение должно работать при ударных нагрузках, выбирайте электрод с повышенными пластическими свойствами.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок (табл. 7), на каждую из которых разработаны технические условия. Марка электрода - это его промышленное обозначение, характеризующее стержень и покрытие.

Одним из основных параметров режима ручной дуговой сварки является диаметр электрода dэ (мм). Для стыковых соединений

диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок (табл. 4).

В табл. 7 представлены наиболее часто применяемые электроды. Каждому типу электрода соответствует несколько марок. В табл. 7 указаны диаметры и коэффициенты наплавки электродов. Коэффициент наплавки оценивает массу электродного металла, перешедшую в сварной шов в течение часа горения дуги, отнесенную к одному амперу сварочного тока. Учитывая, что производительность сварки прямо пропорциональна коэффициенту наплавки, а тип электрода и его диаметр уже выбран, подберите марку электрода из табл. 7.

Величину сварочного тока $I_{св}$ (А), основного параметра режима сварки, устанавливают по известному диаметру электрода. При сварке стыкового шва в нижнем положении используют формулу

$$I_{св} = Kd_э,$$

где dэ – диаметр электрода (мм), K - коэффициент пропорциональности, зависящей от диаметра электрода, определяется по табл. 4.

Длина дуги $L_д$ (мм) значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение высококачественного шва, так как расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает “примерзание” электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво и с характерным шипением. Глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызгивается и больше окисляется и азотируется. Шов получается бесформенным, а металл шва содержит большое количество оксидов. Длину дуги можно определить по формуле

$$L_д = 0{,}5(d_э + 2),$$

где dэ -диаметр электрода (мм).

Самое широкое применение нашла дуга с жесткой характеристикой, когда напряжение $U_д$ (В) практически не зависит от силы тока и пропорционально её длине $L_д$. Такая дуга горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки. Для нахождения Uд можно использовать формулу

$$U_д = a + pL_д,$$

где $L_д$ - длина дуги (мм), a (В) коэффициент, характеризующий падение напряжения на электродах (при использовании стальных

электродов a =10-12 В), p (В/мм) - коэффициент характеризующий падение напряжения на 1 мм длины дуги (p = 2,0-2,5 В/мм).

Количество металла, необходимого для сварного шва $Q_н$ (г) можно определить по формуле

$Q_н = 10^{-3}\, lS\gamma$,

где l - длина свариваемого шва (мм), S -площадь поперечного сечения шва (мм2), у плотность электродного металла, для стали γ = 7,8 г/см3. Для одностороннего стыкового шва без скоса кромок площадь поперечного сечения S можно определить по формуле: $S = b\ h$, где h -толщина свариваемого металла (мм), b - зазор (расстояние) между свариваемыми деталями (мм).

Для одностороннего шва с V - образным скосом двух кромок площадь поперечного сечения S можно определить по формуле

$S = h\ (b - 1)+0{,}5(h^2 + 1)$,

где h и b - указанные выше конструкционные элементы сварного шва. Величину зазора между свариваемыми деталями берём из табл. 3.

Основное время горения дуги $t_о$ (ч) определим по формуле

$t_о = Q_н/(I_{св}\cdot\alpha_н)$,

где $Q_н$ масса наплавленного металла (г), $I_{св}$ - сила сварочного тока (А), $\alpha_н$ - коэффициент наплавки (г/А-ч), (табл. 7).

Скорость сварки Vсв (м/ч) можно определить по формуле

$V_{св} = 10^{-3} l/t_о$,

где l длина сварного шва (мм), $t_о$ - основное время горения дуги (ч).

Процесс сварки включает не только время горения дуги, но и вспомогательные операции (установку электрода, поворот детали и т. д.). Это дополнительное время зависит от организации рабочего места, квалификации сварщика и учитывается коэффициентом производительности M.

Полное время сварки $t_п$ (ч) определяемая по формуле

$t_п = t_о/M$,

где $t_о$ − основное время горения дуги (ч), M – коэффициент производительности, (М = 0,6–0,8).

Массу расплавленного металла $Q_р$ (г) можно определить, подчитав массу расплавленных электродов

$Q_р = 10^{-3}\ \gamma\pi d^2\ (l_э - l_{ог})n/4$,

где γ – плотность электродного металла (для стали γ = 7,8 г/см^3), $d_э$ диаметр электрода (мм), $l_э$ - длина электрода (мм) (табл.4), $l_{ог}$ - длина огарка (мм), (принимают $l_{ог}$ = 50 мм), n число слоёв (проходов) (табл. 6).

Потери металла на угар и разбрызгивание характеризуются коэффициентом потерь ψ (%), который определяется по формуле

$$\psi = 10^2(Q_р - Q_н)/Q_р,$$

где $Q_р$ - масса расплавленного металла (г), $Q_н$ - масса наплавленного металла (г).

Значение коэффициента потерь при ручной электродуговой сварке не должно превышать 10 %.

В заключении, определим полный расход электроэнергии на сварку A (кВт·ч) по формуле

$$A = I_{св}\, U_д\, t_о,$$

где $I_{св}$ - сила сварочного тока (А), $U_д$ - напряжение дуги (В), $t_о$ - основное время горения дуги (ч).

Получение изделий сваркой
Задача С.1

Разработать технологический процесс ручной дуговой сварки плавящимся электродом с покрытием в нижнем положении со стыковым соединением свариваемых элементов.

В табл. 1 приведены исходные данные для выполнения задания № 1.

Таблица 1

Исходные данные для выполнения задания С.1

№ варианта	Марка стали	Временное сопротивление при растяжении σ_b, МПа	Толщина свариваемой стали, H , мм	Длина шва l, мм
0	09Г2СД	450	11,0	460
1	10Г2С1*	500	1,5	400
2	08ГДН*	400	2,0	300
3	15Г	420	2,5	650
4	20	420	3,0	260
5	15*	400	3,5	230
6	Ст3	400	4,0	200
7	14ХГС	500	4,5	180
8	08ГДНФ	500	5,0	150
9	09Г2С*	500	5,5	260
10	12Г2СМФ	700	6,0	240
11	14ГХНМ	700	6,5	200
12	15Х	700	7,0	190
13	16ГС*	500	7,5	340
14	12ГН2МФАЮ	850	8,0	260
15	14Х2ГМР	800	8,5	375
16	20Х	800	9,0	330
17	12ХГН2МФБАЮ	900	9,5	300
18	18ХГТ	1000	10,0	270
19	16Г2АФ	600	10,5	500
20	15Г2СФ	560	11,0	460
21	16Г2АФД	580	11,5	440
22	09Г2*	450	12,0	400
23	20Г	460	12,5	373
24	10ХСНД	540	13,0	347
25	17Г1С	520	13,5	330
26	Ст4	440	14,0	280
27	10Г2*	450	14,5	325
28	25*	460	15,0	310
29	14Г2	460	15,5	290
30	10Г2С1Д	520	16,0	280

* Сварное соединение работает при ударных нагрузках

Задача С.2

Для изготовления из листа толщиной h (мм) цилиндрической обечайки диаметром D (мм) и длиной L (мм) разработать эскиз заготовки, эскиз стыкового сварного соединения по ГОСТ 5264-80, режим ручной дуговой сварки, определить расход электродов.

Варианты исходных данных для задачи С.2

№ вар	Марка стали	*h*	*D*	*L*	№ вар.	Марка стали	*h*	*D*	*L*
1	стЗ		500	1000	11	10	8	700	2000
2	10		700	1500	12	20	9	800	2100
3	20		800	1600	13	СтЗ	6	650	2000
4	Ст3		900	2000	14	10	7	650	2200
5	10		550	1500	15	20	8	850	2500
6	20		600	2000	16	Ст3	9	1000	2500
7	Ст3		750	2200	17	10	6	700	1700
8	10		950	2500	18	20	7	550	1600
9	20		600	1900	19	Ст3	8	900	2000
10	Ст3		500	1200	20	10	9	1100	2300

Задача С.3

Для изготовления из листа толщиной *h* (мм) конического днища для обечайки диаметром *D* (мм) с углом конуса α (град) разработать эскиз заготовки, эскиз стыкового сварного соединения по ГОСТ 5264-80, режим ручной дуговой сварки, определить расход электродов.

Варианты исходных данных для задачи С.3

№ вар.	Марка стали	*h*	*D*	α	№ вар.	Марка стали	*h*	*D*	α
1	10	6	500	45	11	20	6	550	80
2	20	7	700	50	12	Ст3	7	650	75
3	Ст3	8	800	55	13	10	8	750	70
4	10	9	900	60	14	20	9	850	65
5	20	6	1000	70	15	Ст3	6	950	60
6	Ст3	7	1200	75	16	10	7	1100	55
7	10	8	800	80	17	20	8	650	50
8	20	9	900	85	18	Ст3	9	750	45
9	С3	6	700	0	19	10	6	50	80
10	10	7	600	85	20	20	7	950	85

Задача С.4

Для изготовления из листа толщиной *h* (мм) конического перехода длиной *L* (мм) между трубопроводами *D* (мм), d (мм) разработать эскиз заготовки, эскиз стыкового сварного соединения по ГОСТ 5264-80, режим ручной дуговой сварки, определить расход электродов.

Варианты исходных данных для задачи С.4

№ вар.	Марка стали	*h*	*L*	*D*	*d*	№ вар.	Марка стали	*h*	*L*	*D*	*d*
1	20	6	100	203	127	11	Ст3	6	250	299	159
2	Ст3	7	200	219	133	12	10	7	350	325	168
3	10	8	300	245	140	13	20	8	300	203	140
4	20	9	350	273	146	14	Ст3	9	200	219	146
5	Ст3	6	250	294	152	15	10	6	100	245	152
6	10	7	150	325	159	16	20	7	150	273	159
7	20	8	300	203	133	17	Ст3	8	250	299	168
8	Ст3	9	200	219	140	18	10	9	350	325	180
9	10	6	100	245	146	19	20	6	300	203	146
10	20	7	150	273	152	20	Ст3	7	200	219	152

Таблица 2

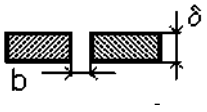
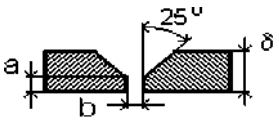
Расчет основных параметров режима электродуговой сварки

№	Определяемая величина	Буквенное обозначение, ед. измерения	Расчетная формула или источник информации	Численная величина
1	Тип сварного шва	С...	табл. 3	С 17
2	Тип электрода	Э...	табл. 5	Э 46
3	Диаметр электрода	$d_э$, мм	табл. 4	6
4	Марка электрода		табл. 7	ОЗС-6
5	Коэффициент пропорциональности	К, А/мм	табл. 4	50
6	Сила сварочного тока	$I_{св}$, А	$I_{св} = Kd_э$	300
7	Длина дуги	$L_д$, мм	$L_д = 0{,}5(d_э + 2)$	4
8	Напряжение дуги	$U_д$, В	$U_д = \alpha + \beta L_д$	18
9	Площадь поперечного сечения	S, мм^2	$S = bh$	
			$S = 8(h - 1)+0{,}5(h^2 + 1)$	94
10	Масса наплавленного металла	$Q_н$, г	$Q_н = 10^{-3} l S \gamma$	337,27
11	Коэффициент наплавки	αн, г/А'ч	табл. 7	10
12	Основное время горения дуги	$t_о$, ч	$t_о = Q_н / I_{св}\, \alpha_н$	0,11
13	Скорость сварки	$V_{св}$, м/ч	$V_{св} = 10^{-3} l / t_о$	4,09
14	Полное время сварки	$T_п$, ч	$T_п = t_о / M$	0,22
15	Длина электрода	$l_э$, мм	табл. 4	450
16	Число слоев	*n*	табл. 6	4
17	Масса расплавленного металла	$Q_р$, г	$Q_р = 10^{-3} \gamma \pi d_э^2 (l_э - l_{ог}) n / 4$	352,68
18	Коэффициент потерь	φ, %	$\varphi = 10^2 (Q_р - Q_н)/Q_р$	4,4
19	Расход электроэнергии на сварку	*A*, кВт-ч	$A = I_{св}\, U_д\, t_о$	594
20	Зазор (расстояние) между свариваемыми деталям	*B*, мм	табл. 3	
21	Длина сварного шва	*l* , мм	табл. 1	

$\alpha = 10$, $\beta = 2$; $\gamma = 7{,}8$ г/см^3; $l_{ог} = 50$ мм; $M = 0{,}5$

Таблица 3

Тип сварного шва

Наименование соединения	Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Толщина металла h, мм	Зазор *b*, мм	Выполнение шва
Шов стыковой односторонний без скоса кромок	С 2		1,5–2,5 3,0–4,0	1 2	
Шов стыковой односторонний с V-образным скосом двух кромок	С 17		4,5–7,5 8,0–13,5 14,0–16,0	3 4 5	

a – притупление кромок, *a* = 1 мм

Таблица 4

Диаметр электрода

Толщина свариваемого металла *h*, мм	1,5–2,0	2,5–4,0	4,5–7,0	7,5–10,0	Более 10,0
Диаметр электрода $d_э$, мм	2	3	4	5	6
Коэффициент пропорциональности *K*, А/мм	30	35	40	45	50
Длина электрода $l_э$, мм	250	300	350	450	450

Таблица 5

Тип электрода

Тип электрода	Механические свойства металла сварного шва		
	Временное сопротивление при растяжении σ_B, МПа	Относительное удлинение ε, %	Ударная вязкость KCU, МДж/м^2
Э 38	380	14	0,3
Э 42	420	18	0,8
Э 42А	420	22	1,5
Э 46	460	18	0,8
Э 46А	460	22	1,4
Э 50	500	16	0,7
Э 50А	500	20	1,3
Э 55	550	20	1,2
Э 60	600	18	1,0
Э 70	700	14	0,6
Э 85	850	12	0,5
Э 100	1000	10	0,5
Э 125	1250	8	0,4
Э 150	1500	6	0,4

Таблица 6

Число слоев

Толщина свариваемой стали h, мм	1,0–5,0	5,5–8,0	8,5–10,0	10,5–14,0	14,5–16,0
Число слоев n	1	2	3	4	5

Таблица 7

Марка электрода

Тип электрода	Марка электрода	Диаметр электрода $d_э$, мм	Коэффициент наплавки $\alpha_н$, г/А·ч
Э 42	ОЗС-23	2; 3	8,5
	ВСЦ-4	3; 4	9,5
	ОМА-2	2; 2,5; 3	8
	АНО-6	4; 5	10
Э 42А	УОНИ-13/45	2; 2,5; 3; 4; 5	8,5
	СМ-11	3; 4; 5	10
Э 46	АНО-4	3; 4; 5	8,5
	ОЗС-6	3; 4; 5; 6	10
	МР-3	3; 4; 5; 6	7,5
	ОЗС-21	3; 4; 5	8,5
Э 46А	ВН-48	2,5; 3; 4; 5; 6	11
	ОЗС-22Р	3; 4; 5; 6	10
	УОНИ-13/55К	3; 4; 5	9,5
Э 50	ВСЦ-4А	3; 4	9,5
Э 50А	УОНИ-13/55	2; 2,5; 3; 4; 5	9
	АНО-11	3; 4; 5	9,5
	ДК-50	4; 5	10
Э 55	УОНИ-13/55У	4; 5; 6	10
Э 60	ВСЦ-60	5; 6	10
	УОНИ-13/65	2; 2,5; 3; 4; 5	9,5
	ОЗС-24	3; 4	9,5
Э 70	ВСФ-75У	4	9
Э 85	УОНИ-13/85	2; 2,5; 3; 4; 5	10
	НИАТ-3М	2; 2,5; 3; 4; 5	9,5
	ВСФ-85	3; 4	9,5
Э 100	ОЗШ-1	2; 2,5; 3; 4; 5	8,5

3. Обработка металлов резанием

Обработка резанием – технологический процесс изготовления деталей, заключающийся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки.

Для осуществления процесса резания необходимо относительное движение между заготовкой и режущим инструментом. Совокупность относительных движений инструмента и заготовки, необходимых для получения заданной поверхности, называют кинематической схемой обработки. Движения резания – это движения, обеспечивающие снятие слоя металла со всей обрабатываемой поверхности.

Примеры схем обработки различных поверхностей (рис. 3.1).

На обрабатываемой заготовке различают три поверхности: обработанную (3), полученную на заготовке в результате обработки; обрабатываемую (*1*), подлежащую обработке, и поверхность резания (*2*), образуемую режущей кромкой инструмента (рис. 1, *а – г*).

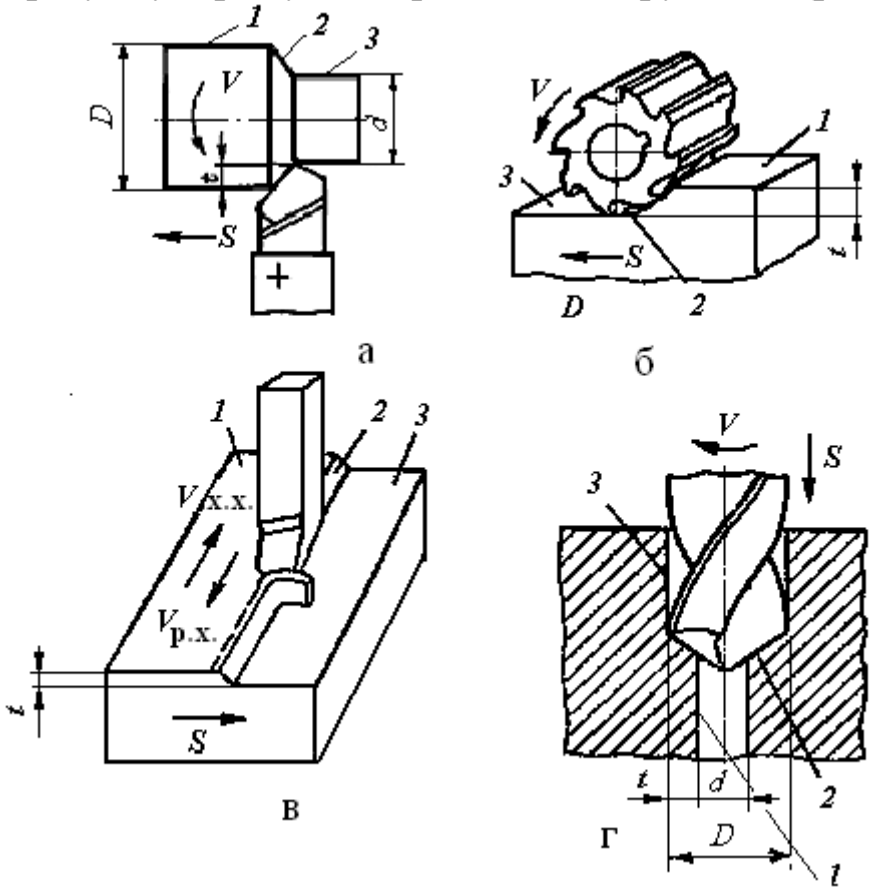


Рис. 3.1 Схемы обработки заготовок:
а) точением. *б*) фрезерованием, *в*) строганием,
г) сверлением (рассверливанием)

Процесс обработки задаётся **режимом резания**. Элементами режима резания являются **скорость резания, подача и глубина резания**. Совокупность этих значений принято называть **режимом резания**. Режим резания выбирается в следующей последовательности:

- глубина резания – *t*,
- подача – *S*,
- скорость резания – *V*.

Глубина резания – определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное по нормали. Глубина резания измеряется в мм (рис. 1.1).
$t = (D - d)/2$ (*а* и *г* – при точении и рассверливании); $t = d/2$ (при сверлении); $t = H - h$ (*б* и *в)* при фрезеровании и строгании)

Глубина резания зависит от следующих факторов:

– величины припуска *а* (слой металла, подлежащий удалению в процессе обработки),

– вида обработки (черновая или чистовая),

– мощности станка.

Глубина резания может быть равна припуску $t = a$, или $t = a / i$, если припуск снимается за несколько проходов (i – количество ходов, за которое снимется весь припуск при данной глубине резания).

Подача (S) – это перемещение заготовки или инструмента в направлении движения подачи за цикл движения резания.

При точении и сверлении подача задается в миллиметрах за 1 оборот (мм/об), при фрезеровании подача может быть задана в миллиметрах на зуб (мм/зуб), в миллиметрах в минуту (мм/мин), при строгании – в миллиметрах за двойной ход стола (мм / дв. х).

Величина подачи зависит от требований к обработанной поверхности: шероховатости и точности поверхности – чем выше точность и чистота обработки, тем меньше величина подачи.

Скорость резания (V) – скорость перемещения точки режущей кромки инструмента относительно заготовки. Скорость резания измеряют в метрах в минуту ***при всех видах обработки резанием***, кроме шлифования и полирования (метры в секунду).

Если главное движение резания является вращательным, то скорость резания определяется по формуле

$$V = \pi D n /1000,$$

где D – диаметр заготовки или инструмента, мм; n – частота вращения заготовки или инструмента, об/мин.

При возвратно-поступательном движении скорость резания определяется по формуле

$$V = 2L\, n\, (k + 1) /1000,$$

где L – длина хода инструмента или детали при обработке данной поверхности, мм;

n – число двойных ходов в минуту ($n = 500 \cdot V / L \cdot (k + 1)$);

k – коэффициент отношения скорости рабочего хода к скорости холостого хода ($k = V_{РХ}/V_{Х.Х}$).

К элементам процесса резания относится также основное технологическое время $T_О$, затрачиваемое непосредственно на обработку резанием данной поверхности (изменение формы и размеров заготовки).

Основное время определяется по формуле:

$$T_О = L \cdot i / S \cdot n,$$

где $L = l + l_1 + l_2$,

l – длина обрабатываемой поверхности,

l_1 – величина врезания инструмента,

l_2 – величина перебега инструмента.

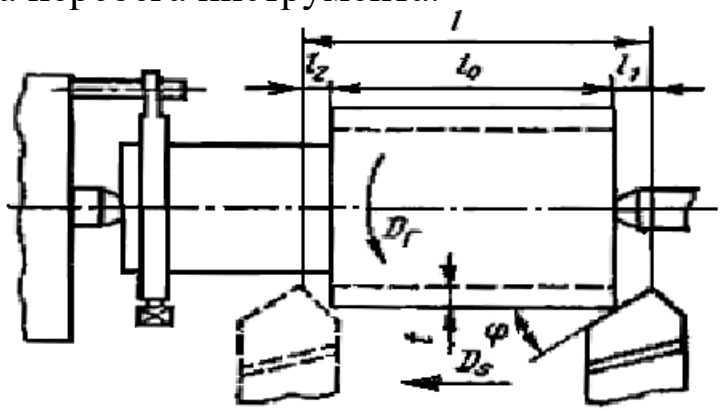


Рис. 1.2. Схема к расчёту $T_О$ при обработке цилиндрической поверхности

Токарная обработка

Задача Т.1.

Определить минутную подачу резца $\mathbf{s_м}$ (мм/мин) при обтачивании на токарном станке заготовки диаметром **D** (мм) со скоростью резания **v** (м/мин) и подачей резца за один оборот заготовки **s** (мм/об)**.**

Варианты исходных данных к задаче Т.1

№	D	V	s	№	D	V	s
1	140	88	0,6	11	387	233	0,6
2	37	233	0,43	12	90	177	0,43
3	90	177	0.87	13	120	119	0.87
4	120	119	0,7	14	72	280	0,7
5	72	280	0,78	15	64	200	0,78
6	64	200	0,17	16	160	80	0,17
7	160	80	0,18	17	54	170	0,18
8	54	170	0,3	18	43	216	0,3
9	43	216	0,23	19	210	133	0,23
10	210	133	0,52	20	140	88	0,52

Задача Т.2.

Определить основное время $\mathbf{T_0}$ при подрезании сплошного торца заготовки диаметром $\mathbf{D_0}$ (мм) на токарном станке за один проход. Припуск на обработку (на сторону) **h** (мм)**.** Частота вращения шпинделя **n** (об/мин)**;** подача резца **s** (мм/об)**.** Резец проходной отогнутый с главным углом в плане $\boldsymbol{\varphi}$**=** 45°**.** Перебег резца $\boldsymbol{\Delta}$**=** 1…3 мм**.** Начертить схему обработки поверхности.

Варианты исходных данных к задаче Т.2

№	D	h	n	s	№	D	h	n	s
1	140	2,5	1000	0,32	11	300	2	1250	0,32
2	37	3	800	0,43	12	90	3	800	0,43
3	90	2	2000	0,24	13	120	1	2000	0.87
4	120	3	315	0,12	14	72	2	315	0,7
5	72	1,5	800	0,28	15	64	2	800	0,78
6	64	3	500	0,17	16	160	3,5	500	0,17
7	160	2	1250	0,18	17	54	1,5	1250	0,18
8	54	3	400	0,3	18	43	2	400	0,3
9	43	2	630	0,23	19	210	1,8	630	0,23
10	210	1,5	1250	0,52	20	140	2,3	1250	0,52

Задача Т.3.

Определить основное время $\mathbf{T_0}$ при отрезании кольца от заготовки, имеющей форму трубы с наружным диаметром **D** (мм) и внутренним – **d** (мм), на токарном станке резцом с пластиной из твердого сплава**.** Частота вращения шпинделя **n** (об/мин)**;** подача резца **s** (мм/об)**.** Перебег резца **Δ=** 1…2 мм**.** Начертить схему обработки поверхности.

Варианты исходных данных к задаче Т.3

№	D	d	n	s	№	D	d	n	s
1	140	80	1000	0,32	11	300	120	1250	0,32
2	70	35	800	0,43	12	90	30	800	0,43
3	90	40	2000	0,24	13	120	60	2000	0.87
4	120	65	315	0,12	14	72	34	315	0,7
5	72	36	800	0,28	15	64	24	800	0,78
6	64	20	500	0,17	16	160	70	500	0,17
7	160	80	1250	0,18	17	54	20	1250	0,18
8	54	25	400	0,3	18	43	10	400	0,3
9	43	20	630	0,23	19	210	120	630	0,23
10	210	100	1250	0,52	20	140	100	1250	0,52

Задача Т.4.

Определить мощность **N**рез, затрачиваемую на резание и момент сопротивления резанию **Mcp** , если при продольном точении заготовки диаметром **D** (мм) со скоростью резания **v** (м/мин) тангенциальная сила резания составила **Pz**(Н). Начертите схему расположения составляющих силы резания для рассматриваемого случая обработки резанием.

Варианты исходных данных к задаче Т.4

№	D	V	P_z	№	D	V	P_z
1	140	75	2750	11	380	75	2750
2	160	130	2200	12	90	170	2200
3	90	170	3000	13	120	119	3000
4	120	110	1050	14	72	120	1050
5	75	180	2050	15	64	200	2050
6	64	100	3000	16	160	80	3000
7	160	80	4000	17	54	170	4000
8	80	170	1600	18	43	160	1600
9	30	150	1500	19	210	133	1500
10	210	130	1000	20	140	88	1000

Фрезерная обработка

Задача Ф.1

Определите основное. штучное время и скорость резания при фрезеровании плиты длиной *l* за несколько рабочих ходов *i* цилиндрической фрезой диаметром $d_{фр}$. со скоростью движения подачи *Vs (*мм/мин), глубиной резания *t* и частотой вращения фрезы *n*. Приведите схему обработки с обозначением на ней всех элементов режима резания.

Варианты исходных данных к задаче Ф.1

№	*l*	$d_{фр}$	*i*	*t*	*Vs*	*n*	№	*l*	$d_{фр}$	*i*	*t*	*Vs*	*n*
1	350	80	1	3	22,4	50	11	200	90	1	4	22,4	50
2	400	90	2	4	31,5	71	12	350	120	2	3	31,5	71
3	480	100	3	5	45	100	13	260	100	3	4	45	100
4	450	110	4	5	63	140	14	280	100	1	3	63	100
5	380	90	1	3	90	200	15	450	90	2	4	34,5	70
6	440	80	2	2	22,4	280	16	380	120	3	2,5	22,4	55
7	300	80	1	5	63	140	17	180	80	1	4	63	60
8	320	100	2	3	90	200	18	220	110	2	3	90	90
9	360	110	3	5	63	150	19	320	100	3	4	63	100
10	420	120	4	4	73,5	240	20	300	120	4	3	73,5	110

Задача Ф.2

Определите скорость резания, основное и штучное время при фрезеровании паза длиной *l* за несколько рабочих ходов *i* дисковой трехсторонней фрезой диаметром $d_{фр}$. и числом зубьев *z*. Условия обработки: подача на 1 зуб фрезы s_z , частота вращения фрезы *n*, глубина резания *t*. Приведите схему обработки с обозначением на ней всех элементов режима резания.

Варианты исходных данных к задаче Ф.2

№	*l*	$d_{фр}$	*i*	*t*	*z*	s_z	*n*	№	*l*	$d_{фр}$	*i*	*t*	*z*	s_z	*n*
1	350	80	1	3	18	0.05	50	11	200	90	1	4	18	0,03	50
2	400	90	2	4	18	0,03	71	12	350	120	2	3	18	0,06	71
3	480	100	3	5	200	0,02	100	13	260	100	3	4	200	0,01	100
4	450	110	4	5	22	0,05	140	14	280	100	1	3	22	0,02	100
5	380	90	1	3	18	0,04	200	15	450	90	2	4	18	0,03	70
6	440	80	2	2	18	0,03	280	16	380	120	3	2,5	18	0.05	55
7	300	80	1	5	16	0,06	140	17	180	80	1	4	16	0,03	60
8	320	100	2	3	22	0,01	200	18	220	110	2	3	22	0,02	90
9	360	110	3	5	22	0,02	150	19	320	100	3	4	22	0,05	100
10	420	120	4	4	24	0,03	240	20	300	120	4	3	24	0.05	110

Литература

1. Сафонов Б.П., Брагин Л.П., Марценко К.Н. Сборник задач по материаловедению и технологии конструкционных материалов. НИРХТУ, Новомосковск, 2003. – 78 с.
2. Дальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. – М.:Машиностроение, 1992.
3. Д альский А. И. и др. Технология металлорежущих материалов. М., Машиностроение, 2008 , 664 с.
4. Петруха П. Г. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. М., Машиностроение, 2007 , 614 с.
5. Обработка металлов резание. А. П. Панов и др. Справочник технолога. М., Машиностроение, 2009 , 736 с.
6. Марочник сталей и сплавов. / В.Г. Сорокин, А.А. Волосникова, С.А.
7. Виткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение,
8. 1989. – 640 с.
9. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова. Изд. 3-е. – М.: Машиностроение, 1975. – 520 с.
10. Карпенков В.Ф., Баграмов Л.Г., Стрельцов В.В., Карпенкоа А.В. Технология конструкционных материалов. Основы обработки металлов резанием. – М.:Компания Спутник+, 2002. – 396 с.

Учебное издание

Татьяна Петровна Глинникова
Сергей Александрович Волегов

Технология конструкционных материалов

Учебное пособие по практической и самостоятельной работе по теме «Обработка металлов давлением», «Сварка», Обработка металлов резанием»

для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 - «Машиностроение»,
15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО)
и среднего профессионального образования
15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного
и заочного обучения

Редактор В. В. Баклаева

Подписано в печать. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 4,6. Уч.-изд. л. 2. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки
ФГБОУ ВО УГГУ

«ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

(часть 1)

ПОСОБИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 (150700)- «Машиностроение», 15.03.02 (151000) - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования (15.02.01) 151031 - «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*



Екатеринбург
2018

1.РАБОТА. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОЧЕНИИ

1.1.Общие сведения.

При проектировании операций для сопоставления вариантов производительности необходимо знать норму времени. Время выполнения операции зависит от режимов резания, оборудования.

Элементы в режиме резания, обычно, устанавливают в порядке, указанном ниже.

Глубина резания t, мм. При обработке цилиндрических поверхностей:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

где D – диаметр заготовки до обработки (при наружном точении) или диаметр обработанной поверхности (при растачивании, рассверливании, зенкеровании и т.п.);

d – диаметр обработанной поверхности (наружное точение) или диаметр обрабатываемой поверхности (при растачивании, рассверливании, зенкеровании и т.п.) после одного рабочего хода инструмента.

Глубина резания t: при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования, жесткости системы СПИД принимается равной припуску на обработку; при чистовом точении припуск срезается за два прохода и более. На каждом последующем проходе следует назначить меньшую глубину резания, чем на предшествующем. При параметре шероховатости обработанной поверхности Ra = 3,2 мкм включительно t = 0,5 ÷ 2,0 мм; $Ra \geq 0{,}8$ мкм, t = 0,1 ÷ 0,4 мм.

Число ходов i. Назначается больше одного, если величина припуска превышает допустимую глубину резания ***t.***

Подача S: при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИД, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в (табл.1.4), а при черновом растачивании в (табл.П1.2). Подачи при чистовом точении выбирают в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца (табл. 1.16).

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл.П1.3).

Принимается подача **ближайшая меньшая по паспортным данным станка.**

Скорость резания V, м/мин. Рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого способа обработки

$$V = V_{ТБ} \cdot K_V,$$

где $V_{ТБ}$ – скорость резания, вычисленная по эмпирической формуле, с использованием табличных данных, или определяемая по таблице;

$$V = \frac{Cv}{T^m t^x S^y} K_v,$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении – по формуле

$$V = \frac{C_v}{T^m S^y} K_v.$$

Среднее значении стойкости *T* при одноинструментной обработке – 30 ÷ 60 мин.

Значения коэффициента C_V показателей степени *x, y, z* и *m* приведены в (табл.1.5 и табл.П1.7).

Коэффициент K_V является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки K_{MV} (см. табл.1.7), состояния поверхности $K_{ПV}$ (табл.1.9), материала инструмента $K_{ИV}$ (см. табл.1.8).

Частота вращения n, об /мин. Для токарной, сверлильной, фрезерной и круглошлифовальной обработок

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot D),$$

где *D* – диаметр заготовки или инструмента, мм.

По паспортным данным станка принимают $n_ф$ – фактическую частоту вращения, ближайшую меньшую к расчетной *n* при черновой обработке.

В справочниках по металлорежущим станкам указывают обычно частоту вращения шпинделя n_{max} и n_{min}.

Из определения геометрической прогрессии следует, что

$$n_{max} = n_{min} \cdot \varphi^{m-1},$$

где φ – знаменатель прогрессии; *m* – общее число ступеней частоты вращения соответствующего элемента станка.

Значения нормализованных знаменателей рядов φ, возведенные в степень приведены в табл.1.2, пользуясь которой, можно определить значения φ на основе заданных в технической характеристике станка n_{max}, n_{min} и *m*. Для этого вычисляют частное n_{max} / n_{min} и в строке, соответствующей степени $m - 1$, находим то числовое значение φ^{m-1}, которое равно или близко к вычисленному, и по этому значению – величину φ.

Затем делим расчетное значение числа оборотов, двойных ходов или подачи на их минимальное значение, получая таким образом расчетное значение φ в какой-то степени *x*. В том же столбце для найденного ранее значения φ находим ближайшее меньшее число, соответствующее вычисленному $\varphi^{x} = n_{\text{р}} / n_{\min}$. Умножив затем найденное значение φ^{x} на $n_{\min}$, получим расчетное число оборотов, двойных ходов или подачи.

Таблица 1.2

Значения нормализованных знаменателей рядов φ, возведенные в степени

φ	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00	φ	1,06	1,12	φ	1,06
φ^{2}	1,12	1,26	1,58	2,00	2,50	3,16	4,00	φ^{21}	3,35	11,28	φ^{40}	10,08
φ^{3}	1,19	1,41	2,00	2,82	4,00	5,64	8,00	φ^{22}	3,55	12,64	φ^{41}	10,68
φ^{4}	1,26	1,58	2,50	4,00	6,32	10,08	16,00	φ^{23}	3,77	14,24	φ^{42}	11,28
φ^{5}	1,34	1,78	3,16	5,64	10,08	17,92	32,00	φ^{24}	4,00	16,00	φ^{43}	11,96
φ^{6}	1,41	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00	64,00	φ^{25}	4,24	17,92	φ^{44}	12,64
φ^{7}	1,49	2,24	5,04	11,28	25,28	56,80		φ^{26}	4,48	20,16	φ^{45}	13,40
φ^{8}	1,58	2,50	6,32	16,00	40,00			φ^{27}	4,75	22,56	φ^{46}	14,24
φ^{9}	1,67	2,81	8,00	22,56	64,00			φ^{28}	5,04	25,28	φ^{47}	15,09
φ^{10}	1,78	3,16	10,08	32,00				φ^{29}	5,34	28,48	φ^{48}	16,00
φ^{11}	1,89	3,55	12,64	45,12				φ^{30}	5,64	32,00	φ^{49}	16,96
φ^{12}	2,00	4,00	16,00					φ^{31}	5,98	35,84	φ^{50}	17,92
φ^{13}	2,12	4,48	20,16					φ^{32}	6,32	40,00		
φ^{14}	2,24	5,04	25,28					φ^{33}	6,70	44,96		
φ^{15}	2,36	5,64	32,00					φ^{34}	7,12	50,56		
φ^{16}	2,50	6,32	40,00					φ^{35}	7,55	56,80		
φ^{17}	2,65	7,12	50,65					φ^{36}	8,00	64,00		
φ^{18}	2,81	8,00	64,00					φ^{37}	8,48			
φ^{19}	2,98	8,96	80,64					φ^{38}	8,96			
φ^{20}	3,16	10,1	101,6					φ^{39}	9,50			

Пример 1.

Назначение величины частоты вращения шпинделя.

Для станка 6Т104 $n_{\max} = 2800$ мин $^{-1}$, $n_{\min} = 63$ мин $^{-1}$ и $m = 12$. Найти n, если рассчитанная частота вращения $n_{\text{р}} = 610$ мин $^{-1}$.

Решение.

Находим $\varphi^{m-1} = n_{\max} / n_{\min}$; $\varphi^{12-1} = 2800 / 63 = 44{,}4$.

По табл. 1.2 находим $\varphi^{11} = 45{,}12$, что соответствует $\varphi = 1{,}41$

$$\varphi^{x} = n_{\text{р}} / n_{\min} = 9{,}6.$$

В графе, соответствующей φ = 1,41 находим ближайшее меньшее значение $\varphi^{x} = 8{,}00$, тогда

$$n = n_{\min} \cdot \varphi^{x} = 63 \cdot 8{,}00 = 544 \text{ мин}^{-1}.$$

Фактическая скорость резания, м /мин

$$V_{\Phi} = \pi \cdot D \cdot n \,/1000.$$

Проверку правильности расчета режима резания производят исходя из мощности станка. Эффективную мощность($N_{\text{р}}$), затрачиваемую на резание, рассчитывают по формуле

$N_{\text{Р}} = P_Z \cdot V$ / (60·1020) кВт – при точении и фрезеровании,

$N_{\text{Р}} = M_{\text{КР}} \cdot n$ / 9750 кВт – при обработке осевым инструментом,

где P_{Z} – главная составляющая силы резания, Н,

$M_{\text{КР}}$ – крутящий момент на шпинделе, Н·м.

Полученная мощность $N_{\text{р}}$ не должна превышать эффективную мощность станка($N_{\text{дв}}$)

$$N_{\text{р}} \le N_{\text{ДВ}} \cdot \eta,$$

где $N_{\text{дв}}$ – мощность электродвигателя главного привода станка;

η – КПД кинематической цепи от электродвигателя до инструмента.

Определяем основное технологическое время $T_{\text{О}}$ по уравнению

$$T_{\text{О}} = L \cdot i \,/\, S, \text{ мин.},$$

где L – расчетная длина перемещения инструмента, мм;

i – число рабочих ходов в данном переходе; S – подача, мм /мин.

Расчетная длина перемещения инструмента L определяется как

$$L = l + l_{\text{вр}} + l_{\text{пер}},$$

где l, $l_{\text{вр}}$, $l_{\text{пер}}$ – длины соответственно обрабатываемой поверхности, врезания и перебега инструмента.

Пример 2.

Расчет режима резания при точении.

Вал обтачивают на токарно-винторезном станке. Заготовка – прокат из углеродистой стали 45 ($\sigma_{\text{В}}$ = 750МПа). Обтачивают поверхность Ø94 (рис.1.1). Выбрать станок, инструмент, рассчитать режимы резания и
основное время.

Решение.

Для обработки предложенного вала принимаем станок 16Б16П (табл.1.3). По таблице справочника [1] принимаем проходной упорный резец.

Определяем глубину резания ***t.*** Точение черновое (Rz = 80),
поэтому $t = (D - d)\,/2 = (100 - 94) / 2 = 3$ мм.

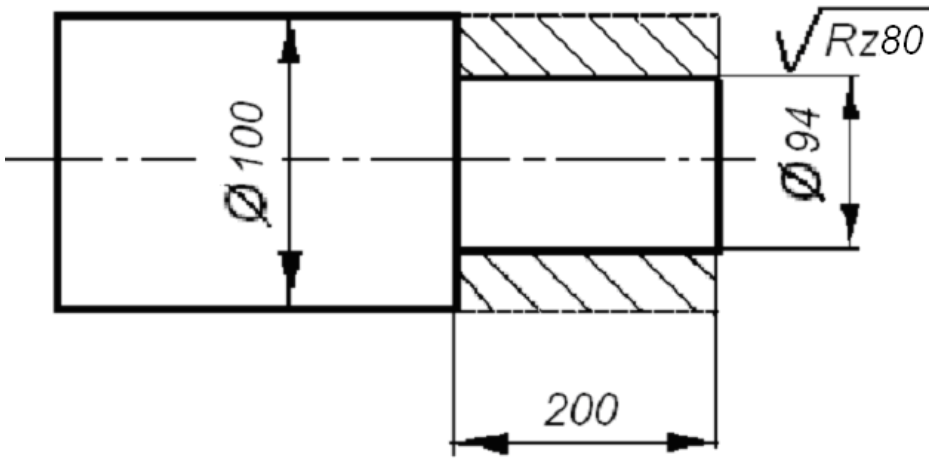


Рис.1.1.

Определяем величину подачи ***S***. Принимаем **максимально допустимую** по табл.1.4

$$\boldsymbol{S} = 0{,}8 \cdot K = 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 0{,}64 \text{ мм/об},$$

где K – коэффициент, учитывающий состояние поверхности (см. табл.1.4).

Определим действительные значения подачи по паспортным данным станка (табл.1.3)

$$S = 0{,}6 \text{ мм /об.}$$

Определим скорость резания V, м/мин по формуле

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_{\text{мv}} \cdot K_{\text{пv}} \cdot K_{\text{иv}} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi' v}.$$

Значения C_v, m, y и x приведены в табл.1.5.

$C_v = 350$, $m = 0{,}2$, $x = 1{,}15$, $y = 0{,}35$ Рекомендуемое значение стойкости $T = 30 \div 60$ мин.

Принимаем $T = 45$ мин.

$K_{MV} = 750 / \sigma_в$ – по табл. 1.7, $K_{MV} = 750 / 750 = 1$.

$K_{ПV} = 0{,}9$ – по табл. 1.9.

$K_{ИV}$ – зависит от материала режущей части резца, принятого для обработки (см. табл. 1.8). $K_{ИV} = 1$ (для сплава Т15К6).

Для определения $K_{\varphi V}$ и $K_{\varphi' V}$ (табл.1.12) необходимо определить значения углов φ и φ′ (табл. 1.10, 1.11) [2]:

φ = 90°; φ′ = 15°;

$K_{\varphi V} = 0{,}7$; $K_{\varphi' V} = 0{,}97$.

$$V = 350 \cdot 1 \cdot 0{,}9 \cdot 1 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}97 / (45^{\,0{,}2} \cdot 3^{\,0{,}15} \cdot 0{,}6^{\,0{,}35}) = 85 \text{ м/мин}.$$

Определяем расчетную частоту вращения шпинделя

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot D) = 1000 \cdot 85 / (\pi \cdot 100) = 270{,}7 \text{ об/мин}.$$

По паспортным данным станка определяем (табл.1.3) **или рассчитываем фактическую частоту вращения $n_ф$, ближайшую меньшую к расчетной.**

$$n_ф = 250 \text{ об/мин}.$$

Таблица 1.3

Токарно-винторезные станки [1]

	16 Б16П	16 К20	16 К25
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки: над станиной над суппортом отверстия шпинделя	 320 180 36	 400 220 55	 500 215 50
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	1000	2000	2000
Частота вращения шпинделя, мин $^{-1}$	20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600	12,5 – – 1600 Число скоро-стей 22
Сечение резца, мм	25×20	25×25	25×25
Подача продольная, мм /об	0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8	0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8	0,05 – – 2,8 Число подач 24
Подача поперечная, мм /об	1/2 от продольной		
Мощность двигателя, кВт	6,3	10	11
КПД η станка	0,7	0,75	0,75

По $n_Ф$ рассчитаем фактическую скорость резания $V_ф$

$$V_Ф = \pi \cdot D \cdot n_Ф / 1000 = \pi \cdot 100 \cdot 250 / 1000 = 78{,}5 \text{ м /мин.}$$

Проверку правильности выбранного режима резания произведем исходя из мощности станка.

Эффективная мощность $N_Р$, кВт, затрачиваемая на резание, рассчитывается по формуле

$$N_Р = P_Z \cdot V_Ф / (60 \cdot 1020),$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н

$$P_Z = 10 \cdot C_Р \cdot t^{\,x} \cdot S^{\,y} \cdot V_Ф \cdot n \cdot K_{МР} \cdot K_{ФР} \cdot K_{\gamma Р} \cdot K_{rР},$$

Таблица 1.4

Подачи при черновом наружном точении

Диаметр детали, мм	Обрабатываемый материал							
	Сталь				Чугун			
	Подача *S*, мм /об при глубине резания t, мм							
	до 3	3–5	5–8	8–12	до 3	3–5	5–8	8–12
до 20	0,35	–	–	–	–	–	–	–
20 – 40	0,45	0,35	–	–	0,45	–	–	–
40 – 60	0,7	0,6	0,5	–	0,75	0,65	0,55	–
60 – 100	0,9	0,8	0,7	0,6	1,1	0,95	0,8	0,7
100 – 140	1,05	0,95	0,8	0,7	1,25	1,05	0,95	0,75

Примечание. При работе с ударами и обработке необработанных поверхностей, табличное значение подачи следует умножить на коэффициент 0,8.

Таблица 1.5

Значение коэффициента C_V и показателей степени в формуле скорости резания

Вид обработки	Материал режущей части резца	Подача, мм /об	Коэффициент и показатели степени			
			C_V	x	y	m
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа						
Наружное продольное точение	Т15К6	до 0,3 св. 0,3 до 0,7 св. 0,7	420 350 340	0,15	0,2 0,35 0,45	0,2
Обработка серого чугуна, *HB*190						
Наружное продольное точение	ВК6	до 0,4 св. 0,4	292 243	0,15	0,2 0,4	0,2

Значения C_P, n, y и x приведены в табл.1.13, численные значения коэффициентов K_{MP},$\cdot K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$ и K_{rp} приведены в табл. 1.14, 1.15, 1.16. Значение угла γ и радиуса при вершине резца r можно принять по табл.1.17, 1.18.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 31 \cdot 0{,}50{,}75 \cdot 78{,}5 - 0{,}15 \cdot 1 \cdot 0{,}89 \cdot 1 = 2475 \text{ Н}.$$

Эффективная мощность N_P

$$N_P = 2475 \cdot 78{,}5/(60 \cdot 1020) = 3{,}18 \text{ кВт}.$$

Должно выполняться условие $N_P \le N_{дв} \cdot \eta$,

где $N_{дв}$ = 6,3 кВт – для станка 16Б16П, η = 0,7 (см. табл. 1.3).

$$3{,}18 \le 6{,}3 \cdot 0{,}7;$$

Если неравенство $N_P \le N_{ДВ} \cdot \eta$ не выполняется, необходимо проверить расчет для меньшей частоты вращения

.

Припуск снимаем за один проход i = 1.

L – длина рабочего хода резца, мм

$$L = l + l_{вр} + l_{пер},$$

где l – размер по эскизу, мм

$l_{вр}$ – врезание резца – $l_{вр} = t \cdot \operatorname{tg} \varphi$ или по табл.П1.6,

$l_{пер}$ – перебег резца – по табл.П1.6.

l = 200 мм, $l_{вр}$ = 1 мм, $l_{пер}$ = 1 мм,

Определяем основное время (мин)

$$T_O = L \cdot i / (n \cdot S);$$

$$T_O = 202 / (250 \cdot 0{,}5) = 1{,}62 \text{ мин.}$$

$$N_P = P_Z \cdot V_Ф / (60 \cdot 1020),$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н

$$P_Z = 10 \cdot C_P \cdot t^{x} \cdot S^{y} \cdot V_Ф \cdot n \cdot K_{МР} \cdot K_{ФР} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{rP}.$$

Таблица 1.6

Выбор марок твердого сплава

Выбор и характер обработки	марка твердого сплава при обработке	
	стали	чугуна
Черновое точение по корке и окалине при непрерывном сечении среза и прерывистом резании с ударами	Т5К10, ВК8	ВК8, ВК4
Черновое точение по корке при непрерывном сечении среза и непрерывном резании	Т14К8, Т5К10	ВК4, ВК8, ВК6
Черновое точение по корке при относительно равномерном сечении среза и непрерывном резании	Т15К6, Т14К8	ВК4, ВК8
Получистое и чистое точение при прерывистом резании	Т15К6, Т14К8, Т5К10	ВК4, ВК6, ВК8
Точное точение при прерывистом резании	Т30К4, Т15К6	ВК3, ВК4
Точное точение при непрерывном резании	Т30К4	ВК3

Таблица 1.7

Поправочный коэффициент K_{MV}, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{MV} = 750 / \sigma_в$
Чугун	$K_{MV} = (190/HB)^{1,25}$

Таблица 1.8

Поправочный коэффициент $K_{ИV}$, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значение коэффициента $K_{ИV}$				
Сталь конструкционная	Т5К10 0,65	Т14К8 0,8	Т15К6 1,0	Т30К4 1,4	ВК8 0,4
Сталь, чугун		У12А 0,5	ХВГ 0,6	9ХС 0,6	Р6М5 1,0
Чугун	ВК3 1,15	ВК4 1,1	ВК6 1,0	ВК8 0,83	–

Таблица 1.9

Поправочный коэффициент $K_{ПV}$, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Состояние поверхности заготовки				
Без корки	С коркой			
	прокат	поковка	литье	
			нормальное	сильно загрязненное
1,0	0,9	0,8	0,85	0,55

Таблица 1.10

Значения главного угла в плане φ в зависимости от вида обработки [1]

Вид обработки	φ,°
Чистовая обработка с малыми глубинами резания при высокой жесткости СПИД	10 – 20
Точение в условиях достаточной жесткости СПИД	30 – 45
Точение в условиях пониженной жесткости СПИД	60 – 75
Подрезка, прорезка, отрезка, обтачивание, растачивание в условиях малой жесткости.	90

Таблица 1.11

Значения вспомогательного угла в плане φ′ в зависимости от условий обработки [1]

Условия обработки	φ′,°
Обточка напроход быстрорежущими резцами - твердосплавными - с врезанием	5 – 10 15 15 – 30
Расточка, подрезка быстрорежущими резцами - твердосплавными	10 – 15 20

Таблица 1.12

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние углов заточки резца на скорость резания

Главный угол в плане φ,°	Коэффициент $K_{\varphi V}$	Вспомогательный угол в плане φ′,°	Коэффициент $K_{\varphi' V}$
20	1,4	10	1,0
30	1,2	15	0,97
45	1,0	20	0,94
60	0,9	30	0,91
75	0,8	45	0,87
90	0,7	–	–

Таблица 1.13

Значение коэффициента C_P и показателей степени в формуле силы резания

Обрабатываемый материал	C_P	x	y	n
Сталь	300	1,0	0,75	– 0,15
Чугун	92	1,0	0,75	0

Таблица 1.14

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметр	Величина	Поправочный коэффициент	
		Обозначение	Величина
Главный угол в плане φ	30 45 60 90	$K_{\varphi p}$	1,08 1,00 0,94 0,89
Передний угол γ	– 15 0 10	$K_{\gamma p}$	1,25 1,10 1,00

Таблица 1.15

Поправочный коэффициент K_{MP} для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала и силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени
Конструкционная углеродистая сталь σ_B, МПА < 600 > 600	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	 0,75 / 0,35 0,75 / 0,75
Чугун	$K_{мр} = (HB/190)^n$	0,4 / 0,55

П, в знаменателе – для быстрорежущих сталей.римечание. В числителе приведены значения показателя степени для твердого
сплава

Таблица 1.16

Поправочный коэффициент K_{rp}, учитывающий влияние радиуса при вершине резца на силу резания

Радиус при вершине резца ***r***, мм	K_{rp}
0,5	0,87
1,0	0,93
2,0	1,0
3,0	1,04

Таблица 1.17

Ориентировочные значения углов γ и α при обработке различных материалов [1]

Обрабатываемый материал	Резцы из быстрорежущей стали		Резцы из твердых сплавов напайные	
	α,°	γ,°	α,°	γ,°
Углеродистые и легированные стали: $\sigma_B \le 800$ МПа $\sigma_B = 800 \div 1100$ МПа $\sigma_B > 1100$ МПа	 8 8 8	 10 – 20 10 – 15 10 – 15	 6 – 8 6 – 8 6 – 8	 0 – 15 0 – 15 0 – 15
Серый чугун ≤ *HB* 220 > *HB* 220	 6 – 8 6	 6 – 12 0 – 6	 6 – 8 6 – 8	 10 – 15 0 – 10

Таблица 1.18

Рекомендованные размеры радиусов при вершине резца *r*, мм [1].

Резцы	Размеры $H \times B$		
	12 × 2 16 × 10	16 × 12 16 × 16 20 × 12	20 × 16 20 × 20 25 × 16
Расточные	0,5 (1,0)	1,0 (1,6)	
Проходные подрезные	0,5	1,0	

Примечание. Несовпадающие значения размеров быстрорежущих резцов приведены в круглых скобках.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

Подачи, мм /об при чистовом точении

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца *r*, мм					
Ra	*Rz*	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63		0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	–	0,1	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,50		0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
–	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примечание: Подачи даны для обработки сталей с $\sigma_в$ = 700 ÷ 900 МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_в$ = 500 ÷ 700 МПа значение подач умножать на коэффициент K_S = 1,25; для сталей с $\sigma_в$ = 900 ÷ 1100 МПа значения подач умножать на коэффициент K_S = 0,45.

Таблица П1.2

Подачи, мм /об при черновом растачивании на токарных станках резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец		Обрабатываемый материал					
Диаметр сечения резца	Вылет резца	Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная			Чугун и медные сплавы		
		Подача S, мм /об, при глубине резания t, мм					
		2	3	5	2	3	5
10	50	0,08	–	–	0,12 –0,16	–	–
12	60	0,10	0,08	–	012– 0,20	0,12 – 0,18	–
16	80	0,1 – 0,2	0,15	0,1	0,2 – 0,3	0,15– 0,25	0,1– 0,18
20	100	0,2 – 0,3	0,15 –0,25	0,12	0,3 – 0,4	0,25– 0,35	0,12–0,25

Примечания. 1. Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины и более прочных материалов.

2. См. примечание к табл.1. 4.

Таблица П1.3

Подачи, мм об., при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	Чугун, медные и алюминиевые сплавы
До 20	3	0,06 – 0,08	0,11 – 0,14
Св.20 до 40	3 – 4	0,1 – 0,12	0,16 – 0,19
» 40 » 60	4 – 5	0,13 – 0,16	0,2 – 0,24
» 60 » 100	5 – 8	0,16 – 0,23	0,24 – 0,32
» 100 » 150	6 – 10	0,18 – 0,26	0,3 – 0,4
» 150	10 – 15	0,28 – 0,36	0,4 – 0,55

Примечание:

1.При отрезании сплошного материала диаметром более 60 мм при приближении резца к оси детали до 0,5 радиуса табличные значения подачи следует уменьшить на 40 – 50 %.

2. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения умножить на коэффициент 0,8.

Таблица П1.4

Коэффициенты для расчета подачи при чистовом точении по формуле

$$S = \frac{C_s \cdot R_z^y \cdot r^u}{t^x \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}$$

Обрабатываемый материал	C_S	x	y	z	u
Сталь	0,008	0,3	1,4	0,35	0,7
Чугун	0,045	0,25	1,25	0,5	0,8

Таблица П1.5

Подачи, мм/об., при фасонном точении

Ширина резца, мм	Диаметр обработки, мм			
	20	25	40	60 и более
8	0,03 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09
10	0,03 – 0,07	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085
15	0,02 – 0,05	0,035 – 0,075	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
20	–	0,03 – 0,06	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
30	–	–	0,035 – 0,07	0,035 – 0,07
40	–	–	0,03 – 0,06	0,03 – 0,06
50 и более	–	–	–	0,025 – 0,055

Примечание: Меньшие подачи брать для более сложных и глубоких профилей и твердых металлов больше – для простых профилей и мягких металлов.

Таблица П1.6

Величина врезания $l_{вр}$ и перебега $l_{пер}$ при работе резцами

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Резцы</td><td colspan="12">Глубина резания t</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="12">Величина врезания l_1</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Проходные и расточные с углом в плане φ</td><td>15°</td><td>5</td><td>9</td><td>13</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td><td>28</td><td>31</td><td>39</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td>30°</td><td>3</td><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>15</td><td>19</td><td>22</td><td>26</td><td>29</td></tr>
<tr><td>45°</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td></tr>
<tr><td>60°</td><td rowspan="2">1</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>9</td><td>11</td></tr>
<tr><td>75°</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>90°</td><td colspan="11">3</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подрезные</td><td colspan="12" rowspan="3">При работе в упор – 3
При работе на проход – 5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Отрезные</td></tr>
<tr><td colspan="2">Прорезные</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фасонные</td><td colspan="12">3</td></tr>
</table>

Таблица П.1.7

Значение коэффициента C_V и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_V	x	y	m
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	S до 0,3 S св.0,3 до 0,7 S > 0,7	420 350 340	 0,15 	0,20 0,35 0,45	 0,2
То же резцами с дополнительным лезвием	Т15К6*	$S \le t$ $S > t$	292	0,30 0,15	0,15 0,30	0,18
Отрезание	Т5К10* Р18**	–	47 23,7	 –	0,80 0,66	0,20 0,25
Фасонное точение	Р18**		22,7	–	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы	Т15К6	–	244	0,23	0,30	0,20
	Р6М5	Черновые ходы: $P \le$ 2мм > 2мм	 14,8 30	 0,70 0,60	 0,30 0,25	 0,11 0,08
		Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	Т15К6*	–	2330	0,50	0,50	0,50
Обработка серого чугуна,НВ 190						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$S \le$ 0,40 S > 0,4	292 243	 0,15	0,20 0,40	 0,20
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	ВК6*	$S \le t$ $S > t$	324 324	0,40 0,20	0,20 0,40	0,28 0,28
Отрезание	ВК6*	–	68,5	–	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы			83	0,45	–	0,33
Обработка ковкого чугуна, НВ 150						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК8*	$S \le$ 0,40 S > 0,40	317 215	0,15 0,15	0,20 0,45	0,20 0,20
Отрезание	ВК6*	–	86	–	0,4	0,20

*Без охлаждения.

** С охлаждением.

Примечания: 1. При внутренней обработке (растачивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.

2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твёрдого сплава Т15К6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.

4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85.

5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 – при нормализации, 0,9 – при отжиге, 0,8 – при улучшении.

6. Подача *S* в мм /об.

Таблица П1.8

Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал режущей части	Параметр шероховатости поверхности *Ra*, мкм	Подача, мм /об	Скорость резания, мм /мин
Сталь $\sigma_в < 650$МПа $\sigma_в = 650 \div 800$МПа $\sigma_в > 800$МПа	Т30К4	1,25 – 0,63	0,06 – 0,12	250 – 300 150 – 200 120 – 170
Чугун: *НВ* 149 – 163 *НВ* 156 – 229 *НВ* 170 – 241	ВК3	2,5 – 1,25		150 – 200 120 – 150 100 – 120

Примечание:

1. Глубина резания 0,1 – 0,15 мм.

2. Предварительный проход с глубиной резания 0,4 мм улучшает геометрическую форму обработанной поверхности.

3. Меньшие значения параметра шероховатости поверхности соответствуют меньшим подачам.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Справочник инструментальщика, М. Машиностроение, 1987. 846 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя, т.2. М: Машиностроение. 1986. 496 с.

   Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение –1. 2001. – 944 с.
3. Обработка металлов резанием: Справочник технолога./А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А. А. Панова.– М.: Машиностроение . 1988. – 736 с.: ил.

2.РАБОТА. ВЫБОР И ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

2.1.Общие сведения.

Обработка металлов режущими инструментами на станках при изготовлении деталей, запчастей и производстве ремонтов является трудоемким процессом. От того, насколько правильно выбран набор металлорежущего инструмента, подобран соответствующий станок, в значительной степени зависит и точность обработки, и себестоимость детали.

Оптимизация процесса резания предполагает назначение величины углов заточки инструмента в зависимости от конкретных свойств обрабатываемого материала с учетом прочностных свойств инструментального материала и схемой обработки.

При назначении элементов режимов резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип оборудования.

Элементы режима резания обычно устанавливаются в порядке, указанном ниже.

Глубину резания ***t***, мм: при черновой обработке назначают, по возможности, максимальную, равную всему припуску на обработку или большей его части (при дальнейшей чистовой обработке); при чистовой обработке – в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности.

Число ходов ***i***, назначается больше одного, если величина припуска превышает допустимую глубину резания ***t***.

Подача ***S***, мм/об: при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, учитывая жесткость и прочность системы СПИД, эффективную мощность станка; при чистовой обработке – в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности.

Скорость резания ***V***, м/мин: рассчитывается по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, или принимается по справочным таблицам [1].

2.2. Выполнение работы.

2.2.1.Цель работы.

Научиться правильно выбирать инструмент, металлорежущий станок, режимы резания для обработки заданной детали.

2.2.2.Задание по работе.

Получив от преподавателя эскиз детали, с указанием поверхности, подлежащей обработке, необходимо установить тип и вид инструмента, необходимый для обработки; подобрать по размерам детали и инструмента станок; выбрать оптимальные режимы резания и рассчитать основное технологическое время – T_O.

2.2.3.Ход работы.

2.2.3.1. По размерам, конфигурации и виду обрабатываемой поверхности, пользуясь предложенной литературой, подобрать тип, вид и размеры режущего инструмента.
2.2.3.2. Исходя из материала обрабатываемой детали, вида и условий обработки установить оптимальную геометрию режущей части инструмента [2], [3].
2.2.3.3. Начертить эскиз режущего инструмента, используя типовые примеры, приведенные в альбоме [3]. На эскизе указать размеры инструмента и геометрию режущей части, материал режущей части.
2.2.3.4. Руководствуясь размерами детали и режущего инструмента, используя справочник технолога – машиностроителя [2], подобрать конкретный металлорежущий станок. Дать полную расшифровку модели станка. Ознакомиться с устройством данного станка [4] или, станка такого типа, с его технологическими возможностями.
2.2.3.5. Начертить схему обработки детали, выбранным инструментом, показать взаимное их положение при обработке, стрелками показать движения резания и подачи, вспомогательные движения.
2.2.3.6. Выбрать режим обработки [2]; выбранные значения сверить с данными станка. Рассчитать основное технологическое время на обработку заданной поверхности (или поверхностей) [1]. Полученные данные свести в табл.2.1. Допускается скорость резания не рассчитывать, а принимать рекомендуемую по таблицам [1].

2.3. Оформление отчета

Эскиз инструмента и схема обработки вычерчиваются на специальном бланке. Ответы на контрольные вопросы даются устно, либо, по указанию преподавателя, письменно.

Таблица 2.1

Режимы резания для обработки заданной детали

Поверхность	Диаметр, мм	Длина, мм	***t***, мм	***S*** *	***n***, об /мин	***V***, м /мин	T_O, мин

* – размерность подачи в зависимости от способа обработки.

2.4. Характеристика методов обработки металлов.

2.4.1. Сверление – процесс получения сквозных и глухих отверстий в сплошном материале на сверлильных, токарных, револьверных, расточных, агрегатных и других станках. Точность изготовления отверстий при сверлении – 4 – 5-й класс. Отверстия более высокой точности получают после сверления растачиванием, зенкерованием или развёртыванием.
Главное движение при сверлении – вращательное, движение подачи – поступательное. При работе на сверлильных станках оба движения осуществляет сверло, при работе на других станках вращение совершает обрабатываемая заготовка, поступательное осевое движение – сверло.

Производительность сверления характеризуется основным технологическим временем: $T_O = L / (n \times S)$ мин, где L – длина прохода сверла в мм в направлении подачи.

Зенкерование – способ обработки поверхностей отверстий, предварительно просверлённых, полученных горячей или холодной штамповкой и литьём. Зенкерование. применяют при обработке цилиндрических отверстий, углублений под головки или шейки болтов и винтов, торцевых поверхностей бобышек под шайбы, упорные кольца и т. п. Зенкерование является также промежуточной операцией после сверления перед развёртыванием. Повышает точность и чистоту поверхности, т. к. зенкер в отличие от сверла, имеет больше режущих кромок. Отверстие, полученное зенкерованием, имеет более точное ,по сравнению со сверлёным, направление оси, поэтому зенкерование широко применяют при чистовой и получистовой обработке. Зенкерование выполняется на сверлильных, револьверных и расточных станках.

При обработке отверстий используют различные виды осевого инструмента.

Последовательность и число выполняемых ими операций зависят от требуемой точности отверстия, его диаметра, шероховатости поверхности, а также от того, обрабатывается отверстие в сплошном материале или полученное в литой или штампованной заготовке (табл.2.2 и 2.3).

Развёртывание – одна из разновидностей обработки отверстий резанием (после сверления и зенкерования) многолезвийным режущим инструментом – развёрткой. В результате чернового развёртывания снимается припуск на обработку **не более 0,5 мм на диаметр**, обеспечиваются шероховатость поверхности 7-го класса, точность 3-го класса. **При чистовом развёртывании снимается припуск не более 0,2 мм**; шероховатость – до 9-го класса, точность – до 2-го.

Развёртывание, одна из разновидностей обработки отверстий резанием (после сверления и зенкерования) многолезвийным режущим инструментом – развёрткой. В результате чернового развёртывания снимается припуск на обработку не более 0,5 мм на диаметр, обеспечиваются шероховатость поверхности 7-го класса, точность 3-го класса. **При чистовом развёртывании снимается припуск не более 0,2 мм**; шероховатость – до 9-го класса, точность – до 2-го.

Число зубьев ***z*** разверток зависит от их конструкции (для стандартных разверток оно приводится в соответствующих ГОСТах), для конструкций, аналогичных стандартным, число зубьев можно принять равным стандартному или определить по графикам на (рис. 2.1).

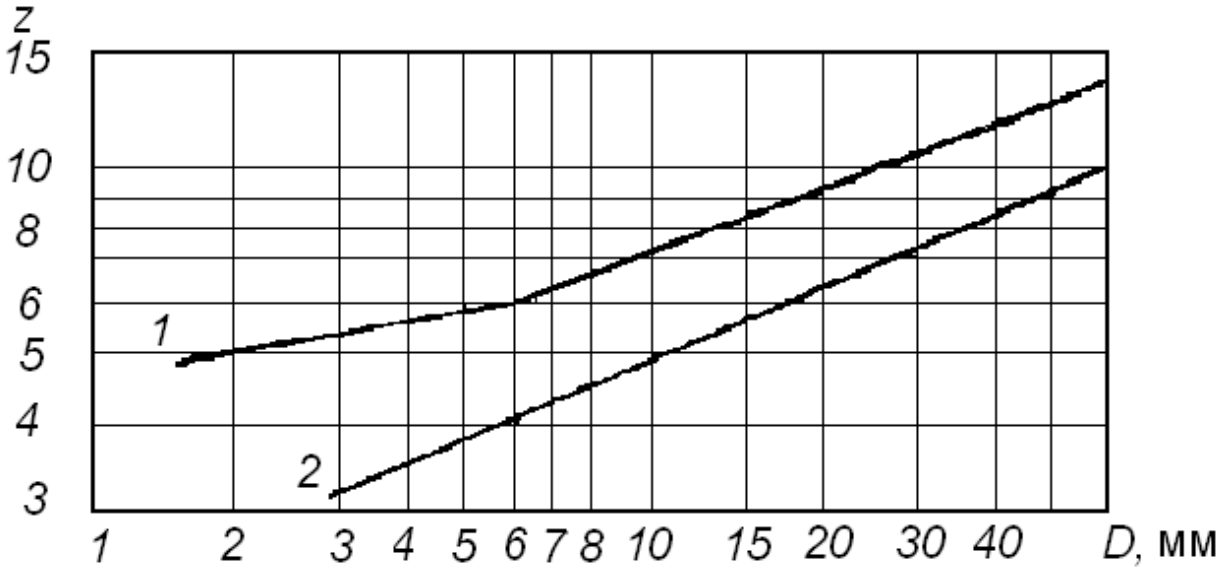


Рис. 2.1. Зависимость числа зубьев развертки от диаметра обработки:
1 – для разверток из быстрорежущей стали;
2 – для разверток, оснащенных твердым сплавом

Режим резания при сверлении.

Глубина резания. При сверлении глубина резания $t = 0{,}5D$ (рис. 2.2, *а*), при рассверливании; зенкеровании и развертывании $t = 0{,}5\ (D - d)$ (рис. 2.2, *б*). При зенкеровании глубина резания *t* принимается в зависимости от диаметра *D*.

D, мм	до 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80 – 100
2*t*,мм	2,5 – 3,5	4 – 4,5	5,5 – 8	7 – 10	8 – 10

При развёртывании глубина резания *t* принимается в зависимости от диаметра $t = 0{,}15 \div 0{,}5$, мм.

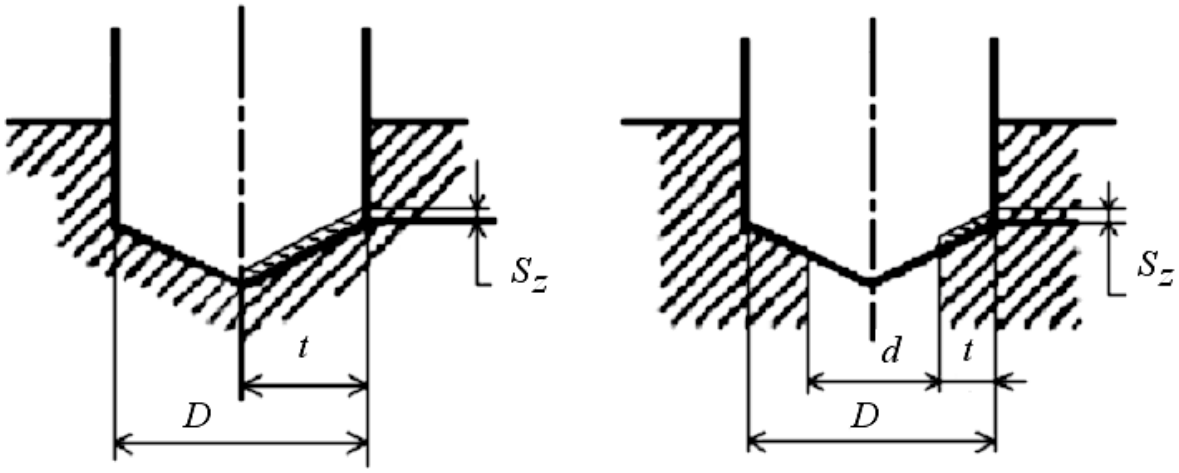
Подача. При сверлении отверстий выбираем подачу по табл.2.6. При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз (табл.2.15). При наличии ограничивающих факторов подачи при сверлении и рассверливании равны. Их определяют умножением табличного значения подачи на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в примечании к таблице.

Подачи при зенкеровании и развертывании приведены в (табл.2.6).

Таблица 2.2.

Качество отработанной поверхности отверстий

Способ обработки	Диаметр отверстия	Квалитет	*Rz*, мкм	Глубина наружного слоя, мкм
Сверление спиральными сверлами	3 – 6 св. 6 до 10 >> 10 >> 18 >> 18 >> 50	12 – 13	20 – 10 40 – 20 80 – 40	40 50 60 70
Зенкерование черновое	18 – 30 св. 30 до 80 до 80	11	80 – 40	40 50 –
однократное	до 30 св. 30 до 80	10 – 11	40 – 20	30 40
Развертывание: черновое чистовое	6 – 8	10 6 – 7	10 – 6,3 6,3 – 3,2	–



а) *б)*

Рис. 2.2. Схема резания при сверлении.

Таблица 2.3.

Последовательность обработки отверстий с использованием сверления, зенкерования и развёртывания

Квалитет	Шероховатость поверхности, мкм	Обработка отверстий	
		в сплошном материале	полученных литьём или штампованной
12 – 13	*Rz* = 80 – 20	сверление без кондуктора	зенкерование
11	*Rz* = 40 – 20	Диаметром до 30 мм – сверлить одним сверлом по кондуктору или сверление и зенкерование. Диаметром более 30 мм – сверление и зенкерование	Зенкерование (двукратное)
8 – 10	*Ra* = 2,5 – 2,0	Диаметром до 20 мм встали и диаметром до 25 мм в чугуне – сверление и развёртывание, Диаметром более 20 мм в стали и более 25 мм в чугуне – сверление зенкерование и развёртывание.	Зенкерование (одно- или двукратное) и развёртывание (однократное)
7 – 8	*Ra* = 2,5 – 0,63	Диаметром до 12 мм – сверление, развёртывание (одно- или двукратное). Диаметром более12 мм – сверление, зенкерование, развёртывание (одно- или двукратное)	Зенкерование (одно- или двукратное) и развёртывание (одно- или двукратное)

Скорость резания. Скорость резания, м /мин, при сверлении

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v,$$

а при рассверливании, зенкеровании, развертывании

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v.$$

Значения коэффициентов C_V и показателей степени приведены для сверления в табл.П2.2.1, для рассверливания, зенкерования и развертывания – в табл. П2.2.2, а значения периода стойкости T – в табл. 2.4.

Скорость резания также может быть определена по таблицам [1]

$$V = V_{\text{ТБ}} \cdot K_V,$$

где $V_{\text{ТБ}}$ – скорость резания, определяемая по табл.2.7;

K_V – поправочный коэффициент, учитывающий конкретные значения условий резания: механические свойства обрабатываемого материала, состояние заготовки, материала инструмента и т.п.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания, $K_v = K_{\text{М}V} K_{\text{И}V} K_{lV}$,

где $K_{\text{М}V}$ – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал см. табл.1.7, 2.8, 2.12, 2.20, 2.22;

$K_{\text{И}V}$ – коэффициент, учитывающий инструментальный материал см. табл.1.8;

K_{lV} – коэффициент, учитывающий глубину сверления табл. 2.10 и 2.14.

При рассверливании и зенкеровании литых или штампованных отверстий вводится дополнительно поправочный коэффициент $K_{\text{пv}}$ (табл. 1.9).

Основное технологическое время при сверлении:

$$T_{\text{о}} = \frac{L}{n \cdot S_{\text{о}}} \cdot; L = l + l_1 + l_2,$$

где L – общая длина рабочего хода инструмента. l_1 и l_2 см. табл.П2.2.4.

Таблица 2.4

Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость *T*, мин, при диаметре инструмента, мм							
			До 5	6–10	11–20	21–3	31–40	41–50	51–60	61–80
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	–
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	–	–
	Коррозионно-стойкая сталь	Быстрорежущая сталь	6	8	15	25	–	–	–	–
Сверло (сверление и рассверливание)	Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	35	60	75	105	140	170	–
		Твердый сплав	15	25	45	50	70	90	–	
Зенкеры (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	–	–	30	40	50	60	80	100
Развертки (развертывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	–	25	40	80	80	120	120	120
		Твердый сплав	–	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	–	–	60	120	120	180	180	180
		Твердый сплав	–	–	45	75	105	135	165	210

Рекомендуемые режимы резания при сверлении деталей из стали, алюминиевых сплавов и чугуна

Таблица 2.5

Рекомендуемые группы подач при обработке отверстий в зависимости от условий обработки

Вид обработки	Условия обработки	Группа подач
Сверление	Сверление сверлами из быстрорежущей стали с точностью не выше 12-го квалитета	I
	Сверление сверлами из быстрорежущей стали пониженной жесткости системы приспособление – деталь, сверление твердосплавными сверлами с точностью не выше 12-го квалитета	II
	Сверление под чистовое зенкерование или развертывание, под нарезание резьбы, наклонных отверстий и т. п.	III
Зенкерование	Черновое зенкерование	I
	Зенкерование с точностью не выше 12-го квалитета под нарезание резьбы и под следующее развертывание черновой разверткой	II
	Зенкерование с точностью по 11-му квалитету и под чистовое развертывание	III
Развертывание	Черновое развертывание под чистовое	I
	Однократное развертывание или после чернового развертывания	II

Таблица 2.6

Подачи S_O^*, мм /об, при обработке отверстий в деталях из стали, чугуна и алюминиевых сплавов

Вид обработки		Группа подач	d, мм										
			2, 5	4	6	10	12	16	20	25	32	40	60
При обработке отверстий в стальных деталях													
Сверление при отношении $\frac{L_{рез}}{d}$	≤ 3	I	0,04	0,08	0,12	0,16	0,22	0,28	0,32	0,4	0,45		
	$4 \div 8$		0,03	0,06	0,1	0,14	0,18	0,22	0,28	0,32	0,36		
	> 8	II			0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,3		
		III	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,16	0,18	0,2		
Зенкерование		I	–			0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9
		II				0,3	0,32	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
		III				0,25	0,27	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6
Развертывание		I	–			0,5	0,6	0,7	0,9	1, 0	1, 1	1,3	1,5
		II				0,35	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1
Цекование при разности диаметров, мм	5	–	–			–		0,2	0,25	0,28	0,3	0,35	0,4
	10									0,25	0,27	0,3	0,32
	20											0,2	0,25
	30		–										0,12
Зенкование						–	0,06	0,08	0,1	0,13	0,15	0,18	0,25
При обработке отверстий в чугунных деталях													
Сверление при отношении $\frac{L_{рез}}{d}$	≤ 8	I	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,35	0,45	0,5	0,55	0,6	
	$4 – 8$		0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	
	≤ 8	II	0,04	0,08	0,1	0,12	0,16	0,18	0,22	0,25	0,3		
	≤ 8	III	0,03	0,06	0,08	0,09	0,12	0,15	0,16	0,18	0,22		
Зенкерование		I				0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9
		II				0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
		III				0,25	0,28	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
Развертывание		I					1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,1
		II					0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
Цекование Зенкование							0,23	0,25	0,78	0,30	0,33	0,35	0,4
							0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4

Окончание табл. 2.6

Вид обработки		Группа подач	d, мм										
			2,5	4	6	10	12	16	20	25	32	40	60
При обработке отверстий в деталях из алюминиевых сплавов													
Сверление, при отношении $\frac{L_{рез}}{d}$	≤ 3	I	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	1,0	
	$4 \div 8$	II	0,08	0,25	0,27	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,75	
	< 8	III	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	
Зенкерование		I II III					–	0,6 0,5 0,3	0,8 0,6 0,4	1,1 0,9 0,6	1,3 1,0 0,7	1,5 1,1 0,8	1,7 1,3 0,9
Развертывание		I II					0,6 0,4	07 0,45	08 0,5	09 0,6	1 0 0,65	1,1 0,7	1,3 0,9

* При *HB* < 229 для стали и *HB* 200 для чугуна табличную подачу на оборот инструмента принимать с коэффициентом 1,2, а при *HB* > 229 для стали и *HB* > 240 для чугуна – 0,8. При зенкеровании и развертывании глухих отверстий принимать S_o не более 0,5 мм / об. Для отверстий с точностью по 7-му квалитету и *Ra* = 1,6 мкм подачи уменьшать на 50% по сравнению с указанными в таблице. Для твердосплавных разверток подачу принимать с коэффициентом 0,7.

Таблица 2.7

Скорость резания *V*, м/мин при обработке отверстий в стальных деталях

S_O, мм /об, до	Сверление						
	d, мм, не более						
	2,4	4	6	8	10	12	16
0,06	17/39	22/54	26/68	30/75	33/86	36/98	42/115
0,1		17/44	20/56	23/62	26/74	28/82	32/96
0,15			18/48	20/52	22/60	24/72	27/80
0,2			15/42	17/46	18/50	20/56	23/64
0,3				14/37	16/42	17/46	19/51
0,4						14/37	16/42

окончание табл. 2.7

S_o, мм /об, до	Сверление				Зенкерование			Цекование и зенкование
	d, мм, не более							
	20	25	32	40	20	40	> 40	
0,06	-	-	-	-	-	-		22/54
0,1	38/112				46/116			22/52
0,15 0,2	30/92 25/72	33/98 27/78	35/105 30/84	40/110 33/92	38/92 33/78	38/92	43/104	20/50 18/48
0,3 0,4 0,6	21/56 18/46 14/37	23/62 19/52 15/40	25/68 21/56 17/45	28/74 22/62 19/50	26/68 23/60 20/54	30/78 26/68 22/60	35/88 30/78 24/65	17/45 16/42 14/40
0,8	–		–	15/40	16/45	19/52	21/58	–
1,0				–		17/45	19/50	

Примечание. В числителе приведены скорости резания при обработке инструментом из быстрорежущей стали, в знаменателе – из твердого сплава.

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Таблица 2.8

Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики обрабатываемого материала

Марка обрабатываемой стали		30, 35, 40			45, 50			30Х, 35Х, 40Х			30ХГТ	35ХГС	
НВ		207	229	259	229	269	302	207	255	332	197	241	321
Материал рабочей части режущего инструмента	Быстрорежущая сталь	1,3	1,1	0,9	1.0	0,9	0,7	1,0	0,8	0,6	0,7	0,6	0,5
	Твердый сплав	1,2	1,0				0,8		0,9	0,7	0,95	0,8	0,7

Таблица 2.9

Коэффициент k_{TV} в зависимости от периода стойкости инструмента

Инструмент	Материал рабочей части	Период стойкости *T*, мин

	режущего инструмента	≤ 15	30	60	100	150	200	250	300	400
Сверла, зенкеры, цековки	Быстрорежущая сталь	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9		0,8	0,75	0,65
Сверла, зенкеры,	Твердый сплав	1,6	1,35	1,15		0,85				

Таблица 2.10

Коэффициент k_{lV} в зависимости от глубины обработки

Инструмент	Отношение длины резания к диаметру					
	≤ 3	4	5	6	8	10
Сверла	1	0,85	0,75	0,7	0,8	0,5
Зенкеры	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7

* При сверлении инструментом с двойной заточкой табличные значения скорости резания увеличивать на 10 – 15 %.

Таблица 2.11

Скорость резания *V*, м/мин при обработке отверстий в чугунных деталях

S_O, мм /об, не более	Сверление											Зенкерование			Цекование и зенкование
	2,5	4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	20	40	> 40	
0,06	21	24	27	30	32	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23
0,1	–	21	23	25	26	28	30	31	33			45			23
0,15		17	19	20	22	23	25	26	28	30	32	39	43	41 36	22
0,2			17	18	19	20	22	23	24	26	28 25	35 31	38	32	21
0,3			15	16	17	18	20	21	22	24	22	27	24	27	20
0,4					15	16	17	18	19	21	20	23	30	24	19
0,6		–	–	–			15	16	17	18	16	21	25		18
0,8					–	–				15			23		
								–							–

Примечание. При сверлении и зенкеровании твердосплавным инструментом скорости резания увеличивать в 2,5 раза, при цековании – в 2 раза.

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Таблица 2.12

Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики обрабатываемого металла

HB	143 – 207	163 – 229	170 – 241	Св. 241
k_{MV}	1,15	1,0	0,9	0,8

Таблица 2.13

Коэффициент k_{Tv} в зависимости от периода стойкости инструмента T_M

Инструмент	Материал рабочей части режущего инструмента	T_M, мин								
		30	60	100	150	200	250	300	400	600
Сверла и зенкеры	Быстро-режущая сталь	1,2	1,1	1,0	0,95	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7
	Твердый сплав	1,65	1,25		0,85	0,75	0,7	0,65	0,55	0,5
Цековки и зенкеры	Быстро-режущая сталь	1,4	1,15		0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
	Твердый сплав	1,5	1,2		0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55

Таблица 2.14

Коэффициент k_{lV} в зависимости от глубины обработки

Инструмент	Отношение длины резания к диаметру					
	≤ 3	4	5	6	8	10
Сверла и зенкеры	1	0,85 0,9	0,75 0,85	0,7 0,8	0,8 0,75	0,5 0,7

Рекомендуемые режимы резания при рассверливании деталей из стали, алюминиевых сплавов и чугуна

Таблица 2.15

Подача S_O, мм /об

Диаметр рассвер-	Диаметр про-свер-	Материал деталей	
		Сталь и алюминиевые сплавы	Чугуны
		Группа подач	

ливания, мм	ленного отвер-	I	II	III	I	II	III
30	10 15	0,4 - 0,65	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3	0,5 - 0,65 0,6 - 0,7	0,4 - 0,5	0,25 - 0,35
40	20 15	0,45 - 0,7	0,35-0,45 0,3 -0,4	0,3 - 0,4 0,2 -0,3	0,65 - 0,75 0,6 -0,7	0,45 - 0,55 0,35 -0,45	0,35 - 0,45 0,25 - 0,35
50	20 30 20 30 40	0,5 - 0,75 0,6 - 0,8 0,4 - 0,65 0,5 - 0,7 0,6 - 0,8	0,35-0,45 0,4 - 0,5 0,35-0,45 0,4-0,5 0,45-0,55	0,3- 0,4 0,4 -0,5	0,65 - 0,75 0,6 - 0,7 0,7 - 0,8	0,4 - 0,55 0,45 - 0,6 0,4 - 0,5 0,45 - 0,55 0,5 - 0,6	0,35 - 0,45 0,45 - 0,6
60	30 40 50	0,45-0,65 0,5 - 0,7	0,4-0,5 0,45-0,55	0,3 - 0,4 0,4 - 0,5	0,6 - 0,7 0,8 - 0,9 0,9 - 1,0	0,45 - 0,6 0,55 - 0,65	0,35 - 0,45 0,4 - 0,5 0,5 - 0,6

I группа подач применяется при рассверливании отверстий в жестких деталях с точностью до 12-го квалитета; II группа – соответственно в нежёстких деталях под последующую обработку несколькими инструментами; III группа – под последующую обработку одним зенкером или одной разверткой

Таблица 2.16

Скорость резания *V*, м/мин.

Диаметр рассверливания *D*, мм	Диаметр просверленного отверстия *d*, мм	Материал деталей												
		Сталь				Серый чугун						Алюминиевые сплавы		
		S_O, мм/об, не более												
		0,4	0,5	0,6	0,8	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	0,3	0,5	0,8
30	10	30	26	24	20	37	32	29	24	22		132	78	60
	15	31	27	25	22	39	33	30	25	23		140	81	65
	20	33	30	27	23	41	35	31	27	24		160	90	70

окончание табл. 2.16

Диаметр рассверливания *D*, мм	Диаметр просверленного отверстия *d*, мм	Материал деталей												
		Сталь				Серый чугун						Алюминиевые сплавы		
		S_O, мм/об, не более												
		0,4	0,5	0,6	0,8	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	0,3	0,5	0,8

40	15 20 30	27 30 35	24 27 31	22 25 28	19 21 24	–	32 34 36	30 31 32	25 26 27	22 23 25	–	95 105 120	72 80 93	57 63 72
50	20 30 40	27 29 33	24 26 30	22 23 27	19 20 23		31 32 34	27 29 31	23 24 26	21 22 24		90 100 112	72 78 90	57 60 70
60	30 40 50	78 30 33	27 31	71 24 25	19 21 24		– –	28 29 31	24 25 26	21 22 24	20 21	95 105 120	75 82 95	57 63 72

Примечание. При рассверливании отверстий твердосплавными сверлами скорость резания увеличивать в 2 раза.

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Таблица 2.17

Коэффициент k_{TV} в зависимости от стойкости инструмента

Материал инструмента	Период стойкости $T_м$, мин										
	30.	60	100	150	200	250	300	400	600	800	1000.
Быстрорежущая сталь	1,2	1,1	1,0	0,95	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5
Твердый сплав	1,65	1,25		0,85	0,75	0,7	0,65	0,55	0,5	0,45	0,4

Таблица 2.18

Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики обрабатываемого металла

HB	143 – 207	163 – 229	170 – 241	> 241
k_{MV}	1,15	1,0	0,9	0,8

Таблица 2.19

Скорость резания при развертывании отверстий в стальных деталях

Квалитет	Параметр шероховатости, *Ra*, мкм	*V*, м /мин
7 - 8	1,6 3,2	2 – 4 4 – 6
9 - 10	3,2 6,3	4 – 8 9 – 16

Таблица 2.20

Поправочный коэффициент k_{MV} на скорость резания в зависимости от обрабатываемого металла

Сталь углеродистая				Сталь легированная	
30, 40, 45		A12, A20	15, 20	нормализованная	улучшенная
нормализованная	улучшенная				
1,0	0,85	1,15	0,9	0,85	0,7

Таблица 2.21

Режимы резания при развертывании отверстий в чугунных деталях

Квалитет	Параметры шероховатости поверхности *Ra*, мкм	*V**, м/мин	Квалитет	Параметры шероховатости поверхности *Ra*, мкм	*V* *, м/мин
7 – 8	1,6 3,2	7 – 9 9 – 11	9 – 10	3,2 6,3	12 – 14 14 – 16

* Для твердосплавных разверток принимать скорость резания 30 — 40 м/мин.

Таблица 2.22

Поправочный коэффициент k_{MV} на скорость резания в зависимости от обрабатываемого металла

Сталь углеродистая				Сталь легированная	
30, 40, 45		A12, A20	15, 20	нормализованная	улучшенная
нормализованная	улучшенная				
1,0	0,85	1,15	0,9	0,85	0,7

Таблица 2.23

Режимы резания при развертывании отверстий в чугунных деталях

Квалитет	Параметры шероховатости поверхности *Ra*, мкм	*V**, м/мин	Квалитет	Параметры шероховатости поверхности *Ra*, мкм	*V* *, м/мин

7 – 8	1,6 3,2	7 – 9 9 – 11	9 – 10	3,2 6,3	12 – 14 14 – 16

* Для твердосплавных разверток принимать скорость резания 30 – 40 м/мин.

2.4.2.Протягивание – процесс обработки металлов резанием на протяжных станках многолезвийным режущим инструментом – протяжкой. Применение протягивания целесообразно при обработке больших партий деталей, т. е. в крупносерийном и массовом производстве (ввиду сложности изготовления и высокой стоимости протяжек).

В зависимости от порядка срезания припуска при протягивании различают следующие виды резания: а) профильное, при котором все режущие зубья протяжки снимают припуск, но не участвуют в окончательном формировании поверхности, последний же зуб придаёт ей окончательную форму; б) генераторное, при котором каждый режущий зуб протяжки, срезая припуск, одновременно участвует в построении поверхности; в) прогрессивно-групповое, применяемое при снятии относительно больших припусков, когда все зубья, распределённые по группам (2 – 3 зуба), снимают слой металла не сразу по всей ширине, а частями.

Существуют свободный и координатный методы протягивания. При свободном методе протяжка обеспечивает получение только размеров и формы поверхности; при координатном, – кроме того, точное расположение обработанной поверхности относительно базовой.

Припуск под протягивание составляет для отверстий в поковках и отливках 2 – 6 мм; для отверстий, полученных сверлением, зенкерованием или растачиванием, 0,2 – 0,5 мм. Скорость резания при протягивании сравнительно низка (2 – 15 м/мин), однако производительность протягивания высока, т. к. велика суммарная длина одновременно работающих режущих кромок. Точность обработки при протягивании – 3 – 2-й класс; шероховатость обработанной поверхности – 7 – 9-й класс. Особенность процесса резания при протягивании – постоянное накопление стружки во впадинах перед каждым зубом. Для лучшего размещения стружки и предотвращения заклинивания протяжки зубья часто снабжаются стружколомающими канавками.

Режим резания при протягивании. Определение режима резания сводится к назначению скорости резания, т.к. толщина “a” и ширина “b” срезаемого слоя обусловлены конструктивными особенностями протяжки

Элементами резания при протягивании являются периметр резания $\sum B$ – наибольшая суммарная длина лезвий всех одновременно режущих зубьев, мм, подача на один зуб S_z, мм, и скорость резания v, м/мин.

Периметр резания зависит от формы и размеров обрабатываемой поверхности и схемы резания и определяется уравнением $\sum B = Bz_l / z_c$, где B – периметр резания, мм, равный длине обрабатываемого контура заготовки или больше её величину $1/\cos\lambda$ при наклонном расположении зубьев под углом λ; z_c – число зубьев в секции протяжки при прогрессивной схеме резания (при профильной или генераторной схемах резания $z_c = 1$); z_l – наибольшее число одновременно режущих зубьев, определяемое из выражения $z_l = l/t$, где l – длина обрабатываемой поверхности, мм (за вычетом пазов или выточек, если таковые имеются); t - шаг режущих зубьев, мм. Вычисленное значение z_l округляют до ближайшего целого числа.

Подача при протягивании S_Z – размерный перепад между соседними режущими зубьями протяжки (рис.2.3) – является элементом конструкции протяжки.

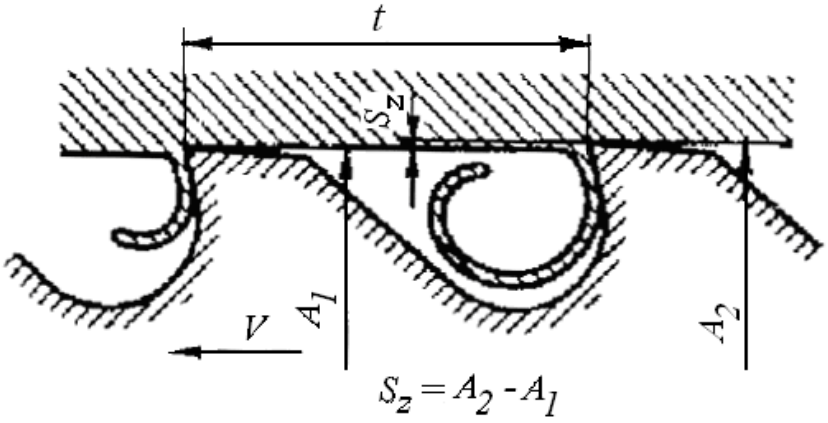


Рис.2.3 Схема срезания припуска при протягивании.

Скорость резания при протягивании – скорость относительного перемещения протяжки и заготовки в главном рабочем движении. Скорость резания, определяемую требованиями к точности обработки и параметрам шероховатости обработанной поверхности, выбирают по табл. 2.24 в зависимости от группы скорости. Устанавливаемой из табл. 2.25. При нормативной скорости резания заданный параметр шероховатости поверхности может быть достигнут при оптимальных значениях переднего и заднего углов, при наличии у протяжки чистовых и переходных зубьев.

Установленную нормативную скорость резания сравнивают с максимальной скоростью рабочего хода станка и скоростью резания,
м /мин допускаемой мощностью двигателя станка:

$$V = 61200\frac{N}{P_z}\eta,$$

где N – мощность двигателя станка, кВт;

P_z – сила резания при протягивании, Н;

η – КПД станка.

В качестве рабочей скорости принимают наибольшую из сравниваемых скоростей.

Сила резания, Н, при протягивании

$$P_z = P\sum B$$

где P – сила резания на 1 мм длинны лезвия, Н, зависящая от обрабатываемого материала и величины подачи S_Z, мм, на один зуб протяжки (табл.П2.2.7).

Таблица 2.24

Скорость резания, м /мин, для протяжек из быстрорежущей стали Р6М5

Группа скорости резания (см. табл.2.25)	Протяжки			
	цилиндрические	шлицевые	Шпоночные и для наружного протягивания	Всех типов
I	8/6	8/3	10/7	4
II	7/5	7/4.5	8/6	3
III	6/4	6/3.5	7/5	2.5
IV	4/3	4/2.5	4/3.5	2

Примечание: 1.В числителе приведены скорости резания при Ra = 3,2 ÷ 6,3 мкм и точности 8 – 9-го квалитетов, в знаменателе – при Ra = 1,6 мкм и точности 7-го квалитета; для протяжек всех типов – при Ra = 0,8 ÷ 0,4 мкм

2. При протягивании наружных поверхностей с допуском до 0,03 мм секциями протяжек с фасонным профилем скорости резания снижать до 4 – 5 м/мин.

3. Для протяжек из стали ХВГ табличные скорости резания снижать на 25 – 30 %.

Основное технологическое время для протягивания –

$$T_o = \left(\frac{L}{1000 \cdot V_{пр}} + \frac{L}{1000 \cdot V_{всп}} \right) \cdot i,$$

где $V_{ПР}$ – скорость протягивания; $V_{ВСП}$ – скорость вспомогательного хода протяжки; L – длина рабочего хода инструмента, мм.

Таблица 2.25

Группы скорости резания при протягивании стали и чугуна

Твердость *НВ*	Сталь						
	углеродистая и автоматная	марганцовистая и хромо-	хромистая	хромистая	хромокремнистая и	хромомарганцови-	хромокремнемар-

		ванадие-вая			крем-немар-ган-цови-стая	стая	ган-цовистая
До 156	IV	–	–	–		–	
Св. 156 до187	III	III	II		–	II	–
» 187 » 197	II		I	II		I	
» 197 » 229	I	II			II		II
» 229 » 269			II	III	III	II	
» 269 » 321	II	III	III		IV	IIII	III

Твердость *НВ*	Сталь						Чугун	
	никелевая	хромоникелевая	хромомарганцовомолибденовая	никельмолибденовая	хромомарганцовистотитановая	хромоникельмолибденовая	серый	ковкий
До 156	–	–					–	
Св. 156 до187		III	–	–			I	I
» 187 » 197	IV			III	–	–		
» 197 » 229	III	II	I				II	
» 229 » 269	III		II	II	II	III		–
» 269 » 321	-	III	III	III	-	IV	-	

2.4.3.Фрезерование – процесс резания металлов и др. твёрдых материалов фрезой. Фрезерование применяется для обработки плоских и фасонных поверхностей (в т. ч. резьбовых поверхностей, зубчатых и червячных колёс) и осуществляется на фрезерных станках. Схема фрезерование цилиндрической фрезой показана на рис.2.4. Главное движение при фрезеровании – вращение инструмента, движение подачи – поступательное перемещение заготовки; скорость резания равна окружной скорости наиболее удалённых от оси фрезы точек её зубьев.

Существуют две возможные схемы фрезерования: против подачи (встречное фрезерование), когда в нижней точке контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой векторы скорости резания и подачи противоположны (рис. 2.5, *а*), и по подаче (попутное фрезерование), когда эти век-

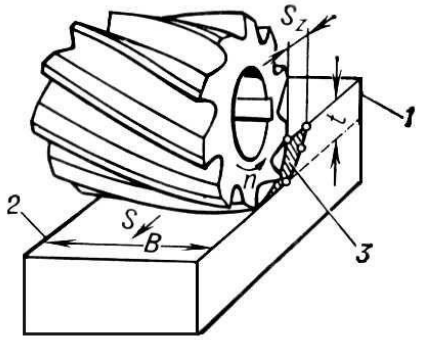


Рис. 2.4. Схема резания при фрезеровании цилиндрической фрезой:
1 – обрабатываемая поверхность;
2 – обработанная поверхность;
3 – поверхность резания.

торы совпадают (рис. 2.5, *б*). При черновом фрезеровании обычно применяется вторая схема, при чистовом фрезеровании – первая. Площадь поперечного сечения слоя металла, срезаемого зубом фрезы, меняется в каждый момент времени резания и, следовательно, меняются и действующие на зуб силы. Равномерное фрезерование может быть достигнуто при использовании фрез с винтовыми зубья ми, работа которых характеризуется примерным постоянством площади поперечного сечения срезаемого слоя металла. Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы. Ее размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала выбирают по возможности наименьшей величины, учитывая при этом жесткость - технологической системы, схему резания, форму и размеры обрабатываемой заготовки.

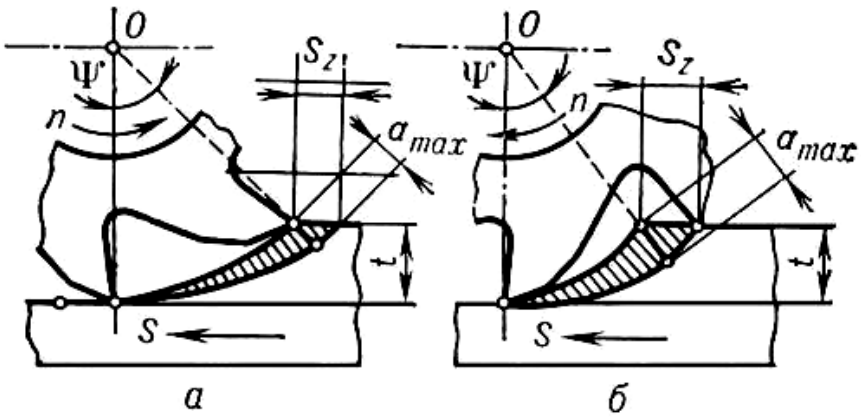


Рис. 2.5. Схемы фрезерования:
а – против подачи; *б* – по подаче
a_{max} – наибольшая толщина срезаемого слоя металла; Ψ – угол контакта фрезы.

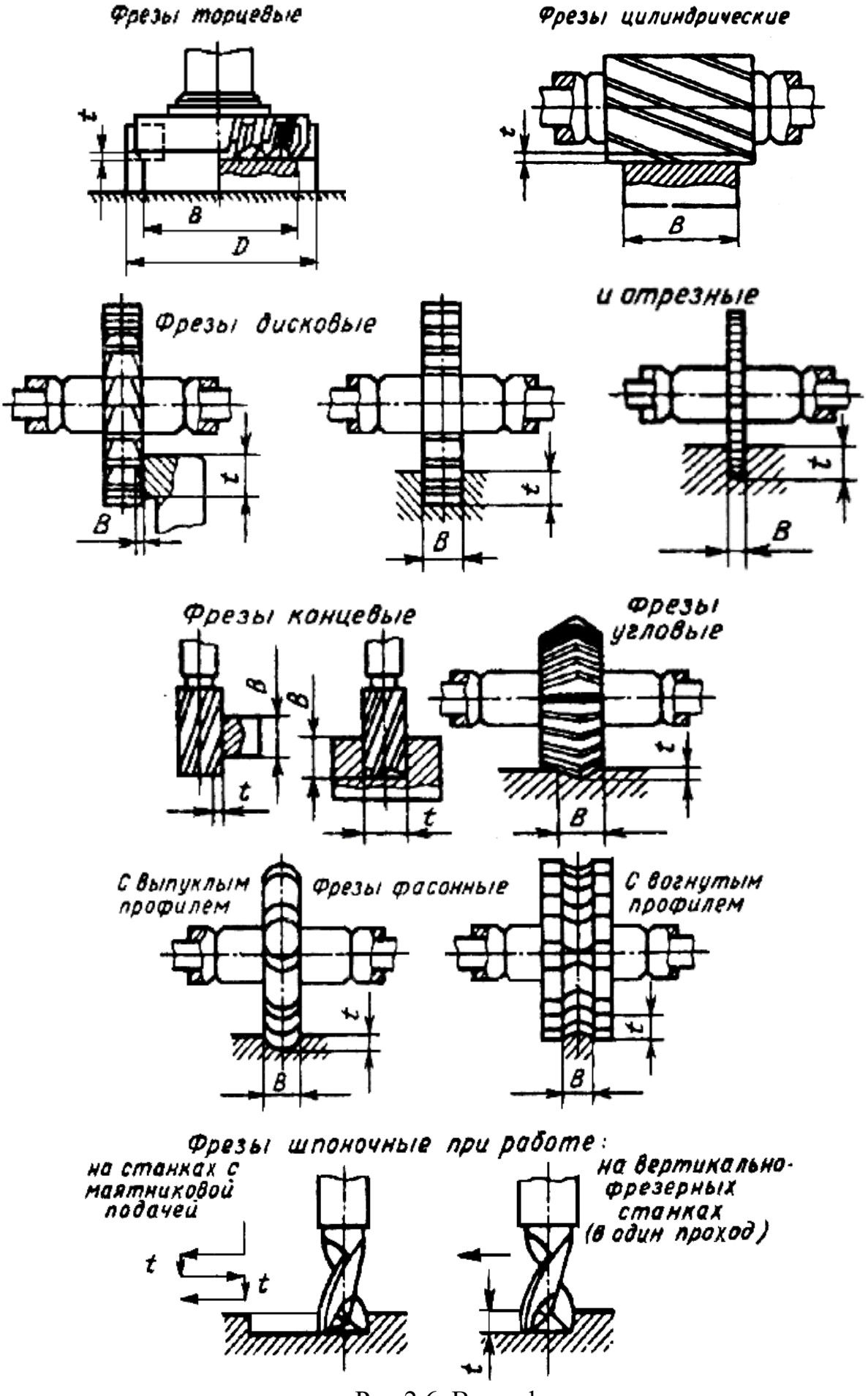


Рис.2.6. Виды фрез.

Таблица 2.26

Рекомендуемые значения габаритных размеров в мм и числа зубьев цельных фрез

Область применения	Вид фрезы										
	дисковая, трехсторонняя			цилиндрическая			торцевая			концевая	
	D	*d*	*z*	*D*	*d*	*z*	*D*	*d*	*z*	*d*	*z*
Обработка хрупких материалов и обработка с малыми глубинами	–	–	–	40	16	8–10	40	16	12	2–4	4
	50	16	14	50	22	8–10	50	22	14	6–8	5
	63	22	16	63	27	10–12	63	27	16	10–18	6
	80	27	18	80	32	10–14	80	27	18	20–30	8
	100	32	20	100	40	14–18	100	32	20	32–40	10
	125	32	22	125	50	16–20	125	40	22	50	12
	160	40	26	160	50	16–22	160	40	24	63	14
	200	40	30	–	–	–	–	–	–	–	–
Обработка сталей и обработка с увеличенными глубинами и подачами	–	–	–	40	16	6	40	16	8	2–6	3
	50	16	10	50	22	6	50	22	8	6–18	4
	63	22	10	63	27	8	63	27	10	20–30	5
	80	27	12	80	32	8	80	27	10	32–40	6
	100	32	14	100	40	10	100	32	12	50; 63	8
	125	32	16	125	50	10	125	40	14	–	–
	160	40	18	160	50	12	160	40	16	–	–
	200	40	20	–	–	–	200	50	20	–	–

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B, т. е. $D = (1{,}25 \div 1{,}5)\ B$, а при обработке стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы: для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей - сдвиг их в направлении врезания зуба фрезы (рис. 2.7, *а*), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя; - для заготовок из жаропрочных и коррозионно-стойких сталей - сдвиг заготовки в сторону выхода зуба фрезы из резания (рис. 2.7, *б*), чем обеспечивается выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя. Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

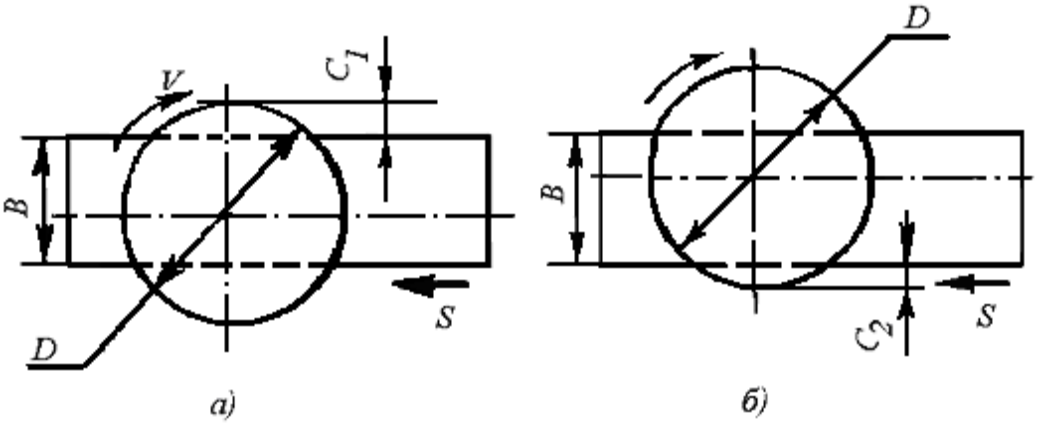


Рис. 2.7. Расположение стальной заготовкой при торцовом фрезеровании относительно фрезы:

а - врезание зуба фрезы при $c_1 = (0{,}03 \div 0{,}05)\ D$; *б* - выход зуба фрезы при $c_2 = 0$

Режим резания при фрезеровании.

Глубина фрезерования *t* и ширина фрезерования *B* – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании. Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; t измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования B определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании; B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб S_Z, подачу на один оборот фрезы S и подачу минутную S_M, мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$S_M = S\,n = S_Z \cdot z \cdot n$$

где n - частота вращения фрезы, об/мин; z - число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб S_Z, при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы S, по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб $S_Z = S/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл. 2.27, 2.28, 2.29.

Число зубьев сборных фрез меньше, чем у цельных, и принимается равным (в зависимости от диаметра d фрезы и обрабатываемого материала):

d, мм	< 40	50; 63	80	100 – 125	165	200	250	400
Сталь	3	4	5	6	8	8 – 10		12
Чугун	4	5	6	10	12	16	22	30

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м /мин,

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v$$

Значения коэффициента C_V и показателей степени приведены в табл. П2.2.3, а периода стойкости T – в табл. 2.30.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv},$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1.7, 2.36,); $K_{ПV}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл.1.9); $K_{ИV}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл.1.8).

Рекомендуемые значения скорости резания для различных фрез и условий резания приведены в табл.2.31, 2.32.

Основное технологическое время при фрезеровании:

$$T_o = \frac{L}{S_м} \cdot i, \quad \text{мин},$$

где L – общая длина прохода заготовки (в мм) относительно фрезы в направлении подачи, i – число проходов. Скорость резания, допускаемая при фрезеровании, зависит от типа фрезы, материала и геометрических параметров её режущей части и др. элементов, режима резания, состояния поверхностного слоя заготовки и т. п.

Таблица 2.27

Подачи при фрезеровании стальных заготовок шпоночными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы *D*, мм	Фрезерование на шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей при глубине фрезерования на один двойной ход, составляющий часть глубины шпоночного паза		Фрезерование на вертикально-фрезерных станках за один проход	
			Осевое врезание на глубину шпоночного паза	Продольное движение при фрезеровании шпоночного паза
	Глубина фрезерования ***t***, мм	Подача на один зуб S_Z, мм		
6	0,3	0,10	0,006	0,020
8		0,12	0,007	0,022
10		0,16	0,008	0,024
12		0,18	0,009	0,026
16	0,4	0,25	0,010	0,028
18		0,28	0,011	0,030
20		0,31	0,011	0,032
24		0,38	0,012	0,036
28	0,5	0,45	0,014	0,037
32		0,50	0,015	0,037
36		0,55	0,016	0,038
40		0,65	0,016	0,038

Примечание: Подачи даны для конструкционной стали с $\sigma_в \leq 750$ МПа; при обработке сталей более высокой прочности подачи снижают на 20 – 40%.

Таблица 2.28

Подача на зуб фрезы S_Z, мм/об, при обработке плоскостей

Твердость обрабатываемого материала *HB*	Обрабатываемый материал						
	Сталь			Чугун			Алюминиевые сплавы
	***t*,** мм						
	≤ 3	≤ 5	> 5	≤ 3	≤ 5	> 5	≤ 12
Торцовые фрезы из быстрорежущей стали							
≤ 229 230 – 287 287	0,2 - 0,3 0,5 - 0,25 0,2 – 0,2	0,15– 0,25 0,12– 0,2 0,1– 0,15	0,12 – 0,21 0,1– 0,15 0,07 – 0,1				0,25–0,3
Торцовые фрезы с пластинами из твердого сплава							
≤ 229 230 – 287 287	0,15- 0,2 0,1 - 0,15 0,08 - 0,1	0,1- 0,18 0,08 - 0,1 0,06 - 0,08	0,1 - 0,15 0,06 - 0,01 0,05 - 0,07	0,2 - 0,35 0,12 - 0,25 0,1 - 0,15	0,15-0,20 0,12-0,2 0,08-0,1	0,1 - 0,2 0,1- 0,15 0,06- 0,08	0,2– 0.3
Дисковые фрезы из быстрорежущей стали							
≤ 229 230 – 287 287	0,1- 0,25 0,12 - 0,2 0,1 - 0,15	0,12 - 0,2 0,1 - 0,15 0,08 -0,1	0,1 - 0,15 0,08 - 0,12 0,06 - 0,1				0,1– 0,15
Дисковые фрезы с пластинами из твердого сплава							
≤ 229 230 – 287 287	0,15-0,12 0,08 - 0,1 0,06-0,08	0,08 - 0,1 0,06 - 0,08 0,05 - 0,07	0,7 - 0,1 0,05 - 0,07 0,04 -0,06	0,15 - 0,25 0,12 - 0,2 0,08 - 0,15	0,12-0,20 0,1- 0,15 0,06 - 0,1	0,1- 0,15 0,08- 0,1 0,05- 0,08	0,15– 0,2
Цилиндрические крупнозубые фрезы из быстро режущей стали							
≤ 229 230 – 287 287	0,2 - 0,3 0,15 - 0,2 0,1 - 0,15	0,15 - 0,2 0,1 - 0,15 0,08 - 0,1	0,1 - 0,15 0,08 - 0,1 0,06 - 0,08				0,2– 0,25

Примечание. При чистовой обработке для достижения параметра шероховатости поверхности Ra = 3,2 мкм S_Z не должна превышать 0,1 мм. Бóльшие значения подач принимать для жестких систем деталь – станок – инструмент.

Таблица 2.29

Подачи на зуб S_Z, мм/зуб, при обработке пазов

B, мм	Твердость обрабатываемого материала	Обрабатываемый материал						
		Сталь			Чугун			Алюминиевый сплав
		t, мм						
	HB	≤ 3	< 5	> 5	< 3	< 5	> 5	< 12
Дисковые фрезы из быстрорежущей стали								
–	≤ 229 230-287 287	0,07 – 0,12 0,05 – 0,10 0,03 – 0,06			0,07 – 0,12 0,06 – 0,1 0,04 – 0,08			0,12 – 0,18
Дисковые фрезы с пластинами из твердого сплава								
–	≤ 229 230 – 287 287	0,06 – 0,10 0,04 – 0,08 0,03 – 0,06			0,07 – 0,12 0,06 – 0,1 0,04 – 0,08			0,1–0,12
Прорезные фрезы из быстрорежущей стали								
2 3 6	≤ 287	0,03-0,05 0,02-0,04 0,01-0,02	0,02-0,04 0,01-0,02 До 0,01	0,01–0,02 До 0,01 –	0,04-0,06 0,03-0,05 0,02-0,04	0,03-0,05 0,02-040, 01-0,02	0,02–0,04 0,01–0,02 До 0,01	0,04–0,06
Угловые фрезы с пластинами из твердого сплава для пазов типа «ласточкин хвост»								
50	230 – 287	–			0,12–0,18 0,01–0,15	0,1–0,15 0,04–0,1	0,08–0,01 0,01–0,05	–
Радиусные фрезы из быстрорежущей стали								
–	230 – 287	0,04–0,06	0,03–0,05	0,02–0,04	0,06 –0,08	0,04-0,06	0,03–0,05	

Примечания: 1. Большие значения подач принимать для жестких систем деталь – станок – инструмент.

2. При фрезеровании пазов дисковыми фрезами меньшие значения подач принимать при $t > 2B$, где B – ширина паза

Таблица 2.30

Средние значения периода стойкости *T* фрез

Фрезы	Стойкость *T*, мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
Торцовые	–		120	180					240		300	400
Цилиндрические со вставными ножами и цельные с крупным зубом						180			240	–		
Цилиндрические цельные с мелким зубом	–		120		180			–				
Дисковые	–					120		150	180	240	–	
Концевые	80	90	120	180	–							
Прорезные и отрезные	–				60	75	120		150	–		
Фасонные и угловые	–		120			180	–					

Таблица 2.31

Скорость резания *V*, м/мин, при обработке деталей из стали

Материал рабочей части режущего инструмента	***t***, мм	S_Z						
		0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3
Торцовые фрезы								
Быстрорежущая сталь	1		70	65	60	50	45	40
	3		50	47	42	37	33	27
	6	–	42	40	36	30	25	22
Твердый сплав	1		440	400	360	300	280	230
	3		400	360	310	270	240	180
	6		350	310	290	240	210	150
Дисковые фрезы для обработки плоскостей								
Быстрорежущая сталь	1		70	65	60	50	45	40
	3		50	47	42	37	33	27
	6	–	42	40	36	30	25	22
Твердый сплав	1		400	380	330	290	250	230
	3		350	320	280	230	210	170
	6		320	300	260	200	180	150

Окончание табл. 2.31

Материал рабочей части режущего инструмента	*t*, мм	S_Z						
		0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3
Дисковые фрезы для обработки пазов								
Быстрорежущая сталь	5 10 20	60 50 38	55 45 35	50 40 33	40 30 25	30 25 20	25 20 18	–
Твердый сплав	5 10 20	420 350 280	340 310 250	310 280 220	280 220 180	220 160 140	140 120 100	-
Прорезные фрезы								
Быстрорежущая сталь	3 6 12 25	–	44 37 30 24	42 35 27 22	35 30 25 30	–	–	
Цилиндрические крупнозубые фрезы								
Быстрорежущая сталь	40* 60* >60*	—	44 42 40	42 40 38	38 34 30	34 30 26	22 20 18	20 18 16
Радиусные фрезы								
	20* >20*	–	40 38	36 32	32 28	–		

* Ширина фрезерования *B,* мм

Таблица 2.32

Скорость резания *V*, м/мин, при обработке деталей из чугуна и алюминиевых сплавов

Материал рабочей части режущего инструмента	***t*,** мм	Чугун								Алюминиевые сплавы (весь диапазон подач)
		S_Z, мм/зуб								
		0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	
Торцовые фрезы										
Быстрорежущая сталь	1 3 6	–								320

Продолжение табл. 2.32

Материал рабочей части режущего инструмента	***t***, мм	Чугун								Алюминиевые сплавы (весь диапазон подач)
		Sz, мм/зуб								
		0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	
Твердый сплав	1 3 6	—		175 150 130	155 130 110	130 120 90	120 110 80	110 100 70	100 90 60	900
Дисковые фрезы для обработки плоскостей										
Быстрорежущая сталь	1 3 6	–		75 70 67	67 63 58	56 50 47	50 45 40	40 36 32	32 28 26	300
Твердый сплав	1 3 6	–		160 140 130	130 120 110	110 100 90	90 80 70	80 70 60	60 55 50	700
Дисковые фрезы для обработки пазов										
Быстрорежущая сталь	5 10 20	85 60 45	70 50 40	65 45 35	55 40 30	45 35 25	40 30 20	30 25 18		100
Твердый сплав	5 10 20	200 160 140	180 140 120	160 120 100	140 110 90	110 100 80	110 90 70	100 80 60	–	500
Прорезные фрезы										
Быстрорежущая сталь	2 6 12 25		40 30 22 15	35 22 18 12	25 18 13 9	–				–
Цилиндрические крупнозубые фрезы										
Быстрорежущая сталь	40* 60* > 60*	–	42 40 38	36 34 32	34 32 30	30 25 20	25 20 18	22 18 16	–	–
Угловые фрезы для пазов типа «ласточкин хвост»										
Твердый сплав	50* >50*	–	–	96 88	82 76	76 68	70 62	64 56	–	–
Радиусные фрезы										
Быстрорежущая сталь	20* >20*		34 32	30 26	26 22	22 20	–	–	–	–

* Ширина фрезерования *B*, мм

Поправочные коэффициенты на скорость резания.

Таблица 2.33

Коэффициент $k_д$ в зависимости от отношения диаметра фрезы к глубине или ширине фрезерования

Материал рабочей части режущего инструмента	Отношение $\frac{D}{B}$ или $\frac{D}{t}$		Обрабатываемый материал	
			Сталь	Чугун
			$k_д$	
Торцовые фрезы				
Быстророрежущая сталь	$\frac{D}{B}$	1,25 2 5	1,0 1,1 1,25	—
Дисковые трехсторонние фрезы для обработки пазов				
Быстрорежущая сталь	$\frac{D}{B}$	3 10 20	1,0 1,2 1,3	1,0 1,1 1,2
Твердый сплав		4 6 9	1,1 1,2 1,3	1,0 1,15 1,25
Цилиндрические фрезы				
Быстрорежущая сталь и твердый сплав	$\frac{D}{t}$	10 20 30	1,0 1,2 1,3	0,8 1,0 1,2
Прорезные фрезы				
Быстрорежущая сталь	$\frac{D}{B}$	15 40 75	1,0 1,2 1 5	1,1 1,2 1 4
Угловые фрезы для пазов типа «ласточкин хвост»				
Твердый сплав	$\frac{D}{B}$	10 > 10	–	1,0 0,8

Таблица 2.34

Коэффициент k_{MV} зависимости от характеристики обрабатываемого материала

Материал рабочей части режущего инструмента	Обрабатываемый материал							
	Сталь							
	30;35;40		45		35Х		20Х	40Х
	НВ							
	229	269	229	264	207	255	179	269
Быстрорежущая сталь	1,1	0,8	1,0	0,8	1,0	0,7	1,3	0,7
Твердый сплав	1,0	0,9		0,9		0,9	1,2	0,8

Материал рабочей части режущего инструмента	Обрабатываемый материал									
	Сталь				Чугун					
	35ХГС	18ХГТ		30ХГТ	Поверхность без корки			Поверхность с коркой		
	НВ									
	241	321	187	197	229	241	295	229	241	295
Быстрорежущая сталь	0,6	0,5	1,1	0,7	-	-	-	-	-	-
Твердый сплав	0,8	0,7	1,0	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6

Таблица 2.35

Коэффициент k_{TV} в зависимости от стойкости инструмента

Материал рабочей части режущего	Обрабатываемый материал										
	Сталь						Чугун				
	Период стойкости $T_м$, мин										
	150	200	400	600	1000	1500	150	200	400	600	1000
Торцовые, дисковые и прорезные фрезы											
Быстрорежущая сталь	0,9	0,85	0,75	0,7	0,6	0,55					
Твердый сплав	0,85	0,80	0,65	–				0,8	0,7	0,6	0,55
Цилиндрические фрезы											
Быстрорежущая сталь	0,85	0,8	–				0,9	–			
Угловые фрезы для пазов											
Твердый сплав							–	0,75	0,65	0,55	0,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

Вертикально-сверлильный станок 2Н125

Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия в заготовке из стали – 25 мм. Мощность двигателя $N_{дв}$ = 2,8 кВт; КПД станка – 0,8. Частота вращения шпинделя, мин $^{-1}$: 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000;. Подача, мм /об.: 0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6. Максимальная осевая сила резания, допускаемая механизмом подачи станка P_{max} = 900 кГс = 9000 Н.

Вертикально-сверлильный станок 2Н135

Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия в заготовке из стали – 35 мм. Мощность двигателя $N_{дв}$ = 4,5 кВт; КПД станка – 0,8. Частота вращения шпинделя, мин $^{-1}$: 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400. Подача, мм /об: 0,1; 0,14;0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6. Максимальная осевая сила резания, допускаемая механизмом подачи станка. P_{max} = 1500 кГс = 15000 Н.

Вертикально-фрезерный станок 6Т13

Площадь рабочей поверхности стола 400×1600 мм. Мощность двигателя $N_{дв}$ = 11 кВт; КПД станка – 0,8. Частота вращения шпинделя, мин $^{-1}$: 16; 20; 25; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1250; 1600. Скорости продольного и поперечного движения подачи стола, мм /мин: 4,1; 5,3; 6,6; 8; 10,5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,5; 66,6; 93,3; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 400. Максимальная сила резания, допустимая механизмом движения подачи, Н: продольного – 20000, поперечного – 12000, вертикального – 8000.

Вертикально-фрезерный станок 6Т12

Площадь рабочей поверхности стола 320 × 1250 мм. Мощность двигателя $N_{дв}$ = 7,5 кВт; КПД станка – 0,8. Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$: 16; 20; 25; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1250; 1600. Скорости продольного и поперечного движения подачи стола, мм /мин: 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1250. Скорость вертикального движения подачи стола, мм /мин: 4,1; 5,3; 6,6; 8; 10,5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,5; 66,6; 93,3; 105; 133,3;

166,6; 210; 266,6; 333,3; 400. Максимальная сила резания, допустимая механизмом движения подачи, Н: продольного – 15000, поперечного – 12000, вертикального – 5000.

Горизонтально-фрезерный станок 6Т82Г

Площадь рабочей поверхности стола, мощность, частота вращения, скорость движения подачи и допускаемая сила резания такие же, как у станка 6Т12

Поперечно-строгальный станок 7305

Наибольшая длина хода ползуна 500 мм. Число двойных ходов ползуна в мин $^{-1}$: 13,2; 19; 26,5; 37,5; 53; 75; 106; 150. Горизонтальная подача стола, мм /дв. ход ползуна: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; 4,0; 4,2; 4,4; 4,6; 4,8; 5,0. Вертикальная подача суппорта, мм /дв. ход ползуна: 0,16; 0,33; 0,5; 0,66; 0,83; 1,0. Мощность двигателя $N_{дв}$ = 5,5 кВт; КПД станка – 0,65.

Таблица П2.1.2

Протяжные станки

Модель станка	Номинальная тяговая сила, тс	Кол-во плунжеров	Длина рабочего хода ползуна, мм	Скорость рабочего хода, м /мин		Скорость обратного хода, м /мин	Мощность электродвигателя, кВт
				наибольшая	наименьшая		
Горизонтально-протяжные станки							
7523	10	1	1250	11,5	1,5	20	18,5
7534	25	1	1600	13	1,5	20	37
Вертикально-протяжные станки							
7623	10	1	1250	11,4	1,2	20	8,5
7634	25	1	1250	13	1,2	20	37

Таблица П2.1.1

Зависимость скоростей рабочего хода и допускаемых сил на ползуне от длины обрабатываемой поверхности и числа двойных ходов ползуна в 1 мин

Длина рабочего хода ползуна, мм.	Отношение скоростей рабочего и холостого ходов ползуна.	Число двойных ходов в 1 мин.					
		13,2		19		26,5	
		$V_{р.х.}$	P	$V_{р.х.}$	P	$V_{р.х.}$	P
50	0,956	1,24	147,67	1,86	98,47	2,54	72,00
100	0,914	2,42	76,30	3,63	50,88	4,97	37,20
150	0,875	3,55	52,46	5,36	34,98	7,29	25,58
200	0,836	4,63	40,61	6,93	27,08	9,5	19,80
250	0,799	5,66	33,47	8,48	22,32	11,6	16,32
300	0,764	6,65	28,69	10,0	19,13	13,7	13,99
350	0,728	7,59	25,27	11,4	16,85	15,6	12,32
400	0,694	8,49	22,77	12,7	15,18	17,5	11,10
450	0,662	9,4	20,77	14,0	13,85	19,2	10,13
500	0,630	10,2	19,20	15,3	12,80	20,9	9,36
		37,5		53		75	
50	0,956	3,62	50,67	5,05	36,27	7,6	24,20
100	0,914	7,06	26,18	9,09	18,74	14,8	18,50
150	0,875	10,4	18,00	15,5	12,89	21,7	8,60
200	0,836	13,6	13,94	18,9	9,98	28,3	6,65
250	0,799	16,5	11,49	23,1	8,22	34,6	5,49
300	0,764	19,4	9,85	27,1	7,05	40,6	4,70
350	0,728	22,2	8,67	31,0	6,21	47,2	4,14
400	0,694	24,8	7,81	34,6	5,59		
450	0,662	27,3	7,13	38,2	5,10		
500	0,630	29,5	6,59	42,4	4,72		
		106		150			
50	0,956	10,4	17,69	14,7	12,45		
100	0,914	20,2	9,14	28,8	6,43		
150	0,875	29,7	6,28	42,6	4,42		
200	0,836	38,7	4,87	Запрещается работа на режимах, лежащих ниже линии			
250	0,799	47,5	4,01				
300	0,764						
350	0,728						
400	0,694						
450	0,662						
500	0,630						

Примечание. При работе на режимах, ограниченных верхней линией, сила на ползуне не должна превышать 17,66 кН. $V_{Р.Х.}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2

Таблица П2.2.1

Значения коэффициента C_V и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал:	Материал режущей части инструмента	Подача S, мм /об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_V	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в$ = 750 МПа	Р6М5	≤ 0,2 > 0,2	7,0 9,8	0,40	0,70 0,50	0,20	Есть
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т, *НВ* 141		–	3,5	0,50	0,45	0,12	
Чугун серый, *НВ* 190		≤ 0,3 > 0,3	14,7 17,1	0,25	0,55 0,40	0,125	Нет
	ВК8	–	34,2	0,45	0,30	0,20	
Чугун ковкий, *НВ* 150	Р6М5	≤ 0,3 > 0,3	21,8 25,3	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
	ВК8	–	40,4	0,45	0,3	0,20	Нет
Медные гетерогенные сплавы средней твердости (*НВ* 100 – 140)	Р6М5	≤ 0,3 > 0,3	28,1 32,6	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_в$ = 100 ÷ 200 МПа, *НВ* ≤ 65; дюралюминий, *НВ* ≤ 100		≤ 0,3 > 0,3	36,3 40,7	0,25	0,55 0,40	0,125	

Примечание: Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке, При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент
K_{3V} = 0,75.

Таблица П2.2.2

Значения коэффициента C_V и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_V	q	x	y	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_в$ = 750 МПа	Рассверливание	Р6М5 ВК8	16,2 10,8	0,4 0,6	0,2	0,5 0,3	0,2 0,25.	Есть
	Зенкерование	Р6М5 Т15К6	16,3 18,0	0,3 0,6		0,5 0,3	0,3 0,25	
	Развертывание	Р6М5 Т15К6	10,5 100,6	0,3 0,3	0,2 0	0,65 0,65	0,4	
Конструкционная закаленная сталь, $\sigma_в$ = 600 – 1800 МПа, *HRC* 49 – 54	Зенкерование	Т15К6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	
Серый чугун, *НВ* 190	Рассверливание	Р6М5 ВК8	23,4 56,9	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Нет
	Зенкерование	Р6М5 ВК8	18,8 105,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	
	Развертывание	Р6М5 ВК8	15,6 109,0	0,2 0,2	0.10	0,5 0,5	0,3 0,45	
Ковкий чугун, *НВ* 150	Рассверливание	Р6М5 ВК8	34,7 77,4	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Зенкерование	Р6М5 ВК8	27,9 143,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4. 0,45	0,125 0,4	Есть
	Развертывание	Р6М5 ВК8	23,2 148,0	0,2 0,2		0,5 0,5	0,3 0,45	Есть Нет

Таблица П2.2.3

Значения коэффициента C_V и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	*t*	S_Z	C_V	*q*	*x*	*y*	*u*	*p*	*m*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа**.**												
Торцовые	Т15К6*[1]	Фрезерование плоскостей				332	0.2	0.1	0,4	0.2	0	0,2
	Р6М5 *[2]		–	–	≤0,1 >0,1	64,7 41	0.25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Цилиндрические	Т15К6*[1]		≤35 >35	≤2 >2 ≤2 >2	–	390 443 616 700	0,17 0,17	0,19 0,38 0,19 0,38	0,28 0,28	–0,05 0,08	0,1 0,1	0,33 0,33
	Р6М5 *[2]		–	–	<0,1 >0,1	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	Т15К6*[1]	Фрезерование плоскостей и уступов	–		<0,12 ≥0,12	1340 740	0.2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
		Фрезерование пазов	–	–	<0,06 >0,06	1825 690	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0	0,35
Дисковые со вставными ножами	Р6М5 *[2]	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	< 0,1 >0,1	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	Р6М5 *[2]		–	–	–	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые с коронками	Т15К6*[1]		–	–	–	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые с напаянными пластинами			–	–	–	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые цельные	Р6М5*[2]		–	–		46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33

Продолжение табл. П2.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Прорезные и отрезные	Р6М5*[2]	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Фасонные с выпуклым профилем	Р6М5*[2]	Фасонное фрезерование	–	–	–	53	0,45	0.3	0,2	0,1	0,1	0,33
Угловые и фасонные с вогнутым профилем		Фрезерование угловых канавок и фасонное				44	0,45	0.3	0,2	0,1	0,1	0,33
Шпоночные двухперые	Р6М5*[2]	Фрезерование шпоночных пазов	–		–	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26

Обработка серого чугуна, НВ 190

Торцовые	Р6М5*[1]	Фрезерование плоскостей	–	–	–	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
			–	–	–	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндрические	ВК6*[1]		–	<2,5 ≥2,5	≤0,2 >0,2 ≤0,2 >0,2	923 588 1180 750	0,37 0,37	0,13 0,40	0,19 0,47 0,19 0,47	0,23 0,23	0,14 0,14	0,42 0,42
	Р6М5*[1]			–	≤0,15 >0,15	57,6 27	0,7	0,5	0,2 0,6	0,3	0,3	0,25
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*[1]	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	–	85	0,2	0,5	0,4	0.1	0,1	0,15
Дисковые цельные	Р6М5*[1]		–	–	–	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Концевые	Р6М5*[1]	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
Прорезные и отрезные	Р6М5*[1]	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15

Окончание табл.П2.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обработка ковкого чугуна, НВ 150												
Торцовые	ВК6*[1]	Фрезерование плоскостей	–	–	≤0,18 >0,18	994 695	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
	Р6М5*[2]		–	–	≤0,1 >0,1	90,5 57,4	0,25	0,1	0,2 0.4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	Р6М5*[2]		–	–	≤0,1 >0,1	77 49,5	0,45	0,3	0.2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*[2]	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	<0,1 >0,1	105,8 68	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0.2
Дисковые цельные	Р6М5*[2]		–	–	–	95,8	0,25 0,45	0,3 0,3	0,2 0,2	0,1 0,1	0,1	0,2
Концевые	Р6М5 *[2]	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	68,5					0,1	0,33
Прорезные и отрезные	Р6М5 *[2]	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

*[1] Без охлаждения.
*[2] С охлаждением.

Примечание: Скорость резания для торцовых фрез, рассчитанная по табличным данным действительна при главном угле в плане φ = 60°. При других величинах этого угла значения скоростей следует умножать на коэффициенты: при φ =15°– на 1,6; при φ = 30° – на 1,25; при φ = 45° – на 1,1; при φ = 75° – на 0,93;при φ = 90° – на 0,87.

Таблица П2.2.4

Суммарная величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе сверлами, зенкерами и развертками

Вид работы		Диаметр инструмента D									
		3	5	10	15	20	25	30	40	50	60 и более
		Врезание l_1 + перебег l_2									
Сверление напроход при заточке сверл	одинарной	2	2,5	5	6	8	10	12	15	18	23
	двойной	–	–	6	8	10	15	17	18	22	27
Сверление в упор		1,5	2	4	6	7	9	11	14	17	21
Рассверливание при глубине резания	5	–	–	–	4		5			6	
	10	–	–	–	–	7	8			9	
	15	–	–	–	–	–	–	11		12	
	20	–	–	–	–	–	–	–	14	15	
	30	–	–	–	–	–	–	–	–	18	
Зенкерование напроход при глубине резания	1	–	–	–	3			4		5	
	3	–	–	–	5			6		7	
	5	–	–	–	–	7		8		9	
	10	–	–	–	–	–	12	13		14	15
Зенкерование в упор		–	–	–	2			3		4	
Развертывание цилиндрических отверстий	напроход	–	8	9	15	18	19		24	25	26
	в упор	–	2	3				4			5
Центрование отверстий		1–2	2	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица П2.2.5

Суммарная величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе концевыми фрезами

Диаметр фрезы D	Глубина резания t									
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
12	4	5	6	7	8	9	–	–	–	–
14										
16	5	6	7	8	9	10	11	–	–	–
18								–	–	–
20			8	9	10	11	12	–	–	–
22					11	12	13	14	–	–
25				10	12	13	13	15	–	–
28	6	7	9	11	13	14	15	16	17	–
30				12	14	15	16	17	18	–
35			10	13	15	16	17	18	19	–
40	7	8	11	14	16	17	18	19	20	21
45	8	9	13	15	17	18	19	20	21	22
50	8	11	14	16	18	19	20	21	22	24

Примечание. При чистовой обработке величину врезания и перебега для дисковых фрез следует брать вдвое больше приведенной в таблице

Таблица П2.2.6

Обработка фрезами цилиндрическими, дисковыми, прорезными и фасонными

Глубина резания, мм	Диаметр фрезы, мм							
	25	32	40	50	63	80	100	125
	Врезание и перебег, мм							
1	6,5	7	8,5	9	10	11	13	15
5	12	13	15	17	20	22	25	28
10	–	16	19	22	26	29	33	38
14	–	–	–	24	29	33	38	43
15	–	–	–	25	29	34	39	44
18	–	–	–	–	31	36	42	47

Примечание. При чистовой обработке в целях обеспечения чистой поверхности при выходе фрезы величину врезания и перебега для дисковых фрез следует **удвоить**

Таблица 2.2.7

Сила резания *P*, Н, приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжки

Подача	Обрабатываемый материал		
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Чугун

на один зуб S_Z, мм	*HB* ≤ 197	*HB* 198 - 229	*HB* > 229	*HB* ≤ 197	*HB* 198 - 229	*HB* > 229	серый		ковкий
							HB ≤ 180	*HB* > 180	
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,2	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,2	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431

Примечание. Значение силы резания приведены для нормальных условий эксплуатации: а) передние и задние углы зубьев оптимальные; б) величина износа не превышает допускаемую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка металлов резанием: Справочник технолога./А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А. А. Панова.– М.: Машиностроение . 1988. – 736 с.: ил.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. - М.:Машиностроение, 1986, 496 с., ил.

Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. - М.:Машиностроение-1, 2001. - 944 с., ил..

3. Альбом «Металлорежущие инструменты». – М.: 1979. Кучер А. М., Киватицкий М. М., Покровский А. А. Металлорежущие станки. – М.: Машиностроение, 1965.

3.РАБОТА. ВЫБОР ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

3.1. Общие сведения.

Шлифование является одним из производительных методов обработки различных поверхностей. Парк станков для абразивной обработки достигает 20% общего станочного парка.

Обработка осуществляется абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, сегменты, шкурки и т. п.), абразивные зерна которых являются режущими элементами. Абразивные зерна в инструменте закреплены связующим компонентом – связкой с обязательным наличием пор (рис.3.1).

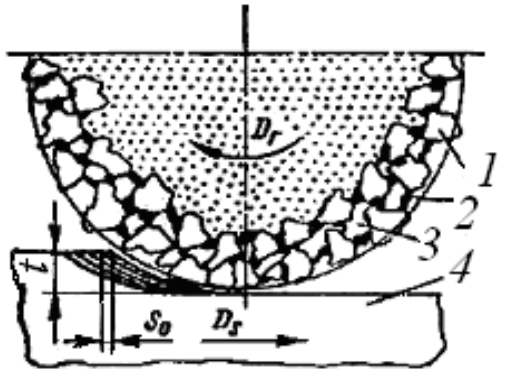


Рис. 3.1. Схема срезания припуска при шлифовании и конструктивные особенности абразивного инструмента: *1* – зерна; *2* – связка; *3* – поры,*4* – заготовка

3.2.Схемы обработки при шлифовании.

В современном машиностроении шлифованию подвергают различные поверхности деталей машин: плоские, цилиндрические, фасонные, внутренние, наружные и т. п. Существуют различные схемы шлифования этих поверхностей. Для всех способов шлифования главным движением резания является вращательное движение шлифовального круга $D_г$, а движение подачи D_s совершает заготовка.

Обработка заготовок на круглошлифовальных станках. На круглошлифовальных станках обрабатывают наружные поверхности заготовок тел вращения с прямолинейными образующими. При наружном круглом шлифовании возвратно-поступательное продольное движение (рис.3.2) подачи осуществляется столом с закрепленной на нем заготовкой. Круговое движение подачи заготовки производится передней бабкой шлифовального станка, а поперечное движение подачи шлифовальным кругом осуществляется на каждый ход стола или двойной ход стола вне зоны обработки.

В зависимости от направления поступательного движения подачи различают еще несколько видов круглого шлифования: глубинное; врезное шлифование и шлифование уступами (рис.3.3). Глубинное шлифование может производиться по схеме с продольным движении. При глубинном шлифовании с продольным движением подачи применяют круг с конусной *1* (режущая часть круга) и калибрующей *2* частями (рис.3.3, *а*).

Режущую часть шлифовального круга иногда выполняют ступенчатой, калибрующая часть может работать по схеме осциллирующего шлифования

.

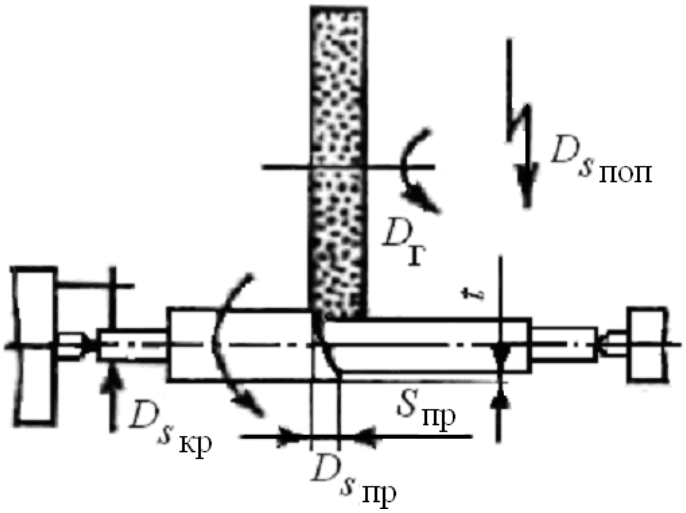


Рис. 3.2. Схема наружного круглого шлифования

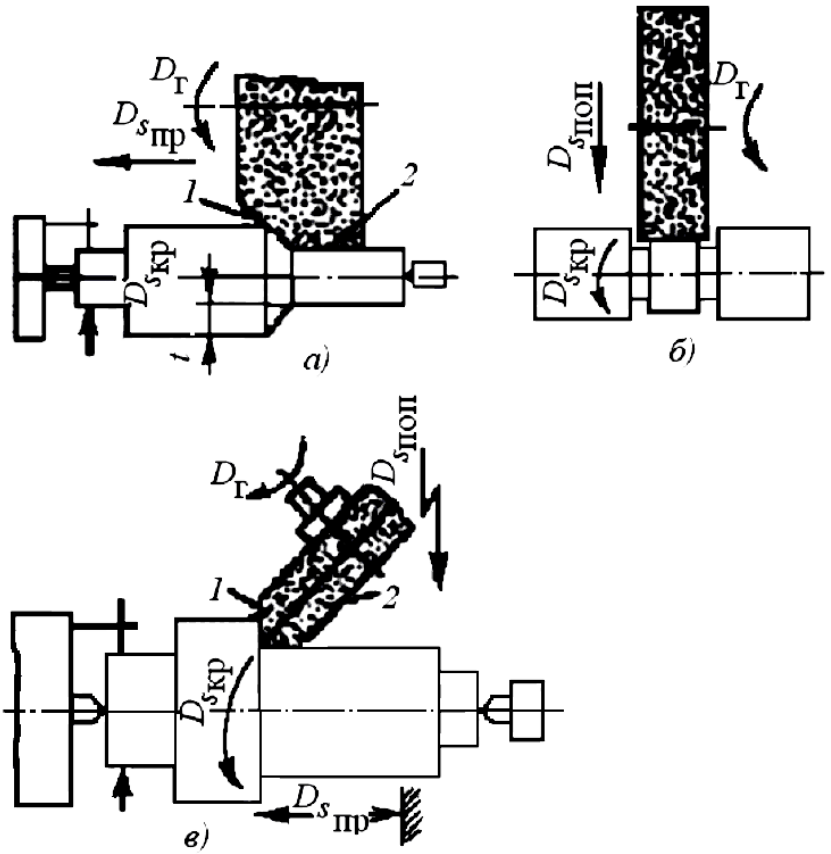


Рис. 3.3. Схемы наружного шлифования в центрах:
а - глубинное; *б* - врезное; *в* - шлифование двух взаимно перпендикулярных поверхностей.

При глубинном шлифовании снимается чаще всего припуск большой величины (0,1 – 0,8 мм), а иногда и более за один-два продольных хода.

В массовом и серийном производстве много деталей обрабатывают врезным шлифованием (рис.3.3, *б*). При врезном шлифовании обрабатывают шейки коленчатых валов, плунжеры, фасонные поверхности, кольцевые канавки и т. п. Движение подачи при врезном шлифовании обеспечивается только в одном направлении – перпендикулярно оси вращения обрабатываемой заготовки до определенного размера.

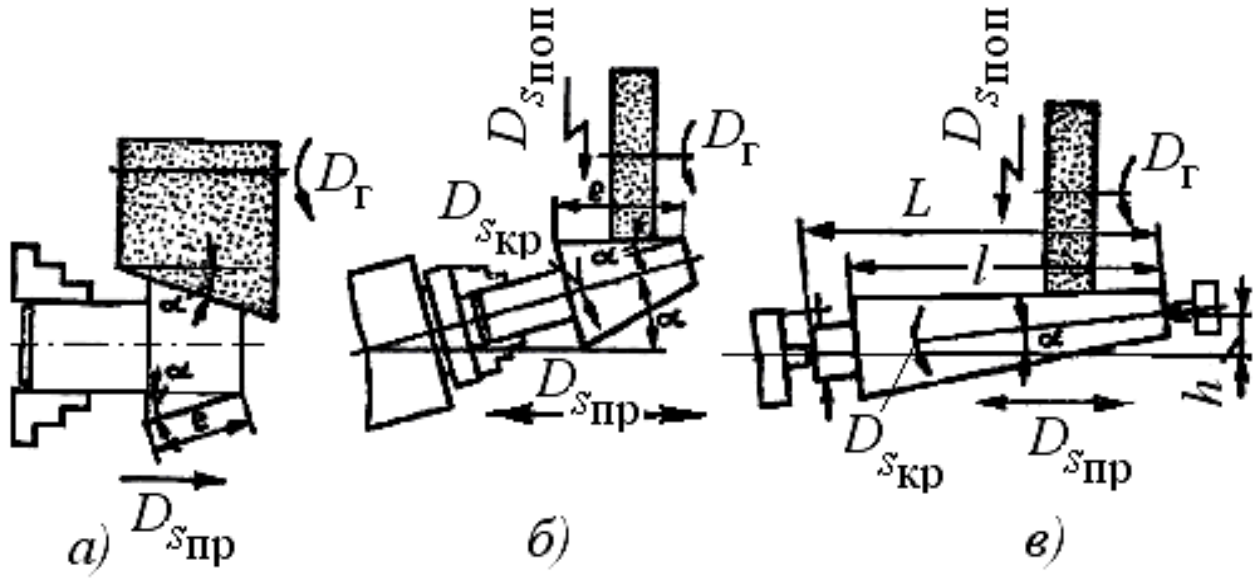
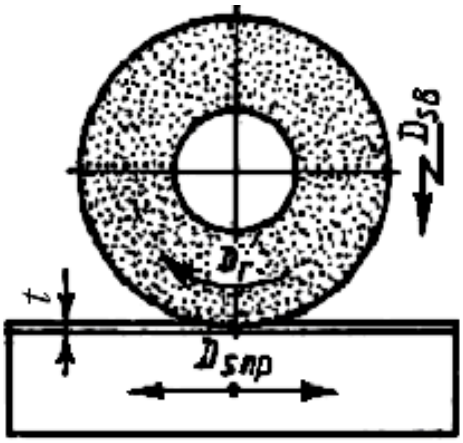


Рис. 3.4. Схемы обработки конических поверхностей
на круглошлифовальном станке.

Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках. При плоском шлифовании периферией круга (рис.3.5) обеспечивается наиболее высокая точность обработки, лучшие показатели качества обработанной поверхности возможна обработка заготовок малой жесткости. При плоском шлифовании возвратно-поступательное продольное движение подачи ($D_{\text{в пр.}}$) и прерывистое движение поперечной подачи ($D_{\text{s поп}}$) совершает заготовка или шлифовальный круг.

Движение подачи круга на глубину резания осуществляется в крайнем положении стола по мере обработки всей плоскости. Если заготовка уже ширины круга, то вертикальное движение подачи осуществляется на каждый двойной ход заготовки

Рис. 3.5. Схема обработки заготовки на плоскошлифовальном станке периферией круга



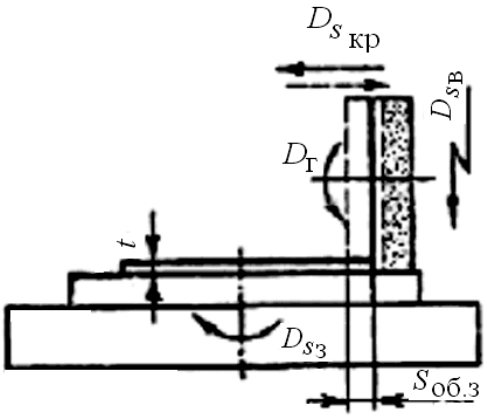


Рис.3.6. Схема обработки заготовок периферией круга на плоскошлифовальном станке с круглым столом

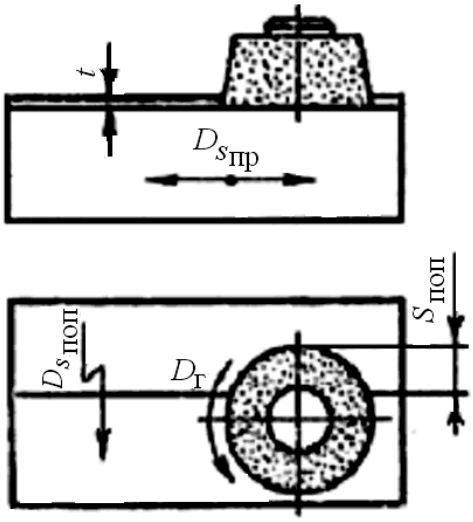


Рис. 3.7. Схема обработки на плоскошлифовальном станке торцом чашечного круга

Плоское шлифование торцом круга (рис.3.7) также может осуществляться на станках, подобных плоскошлифовальному с прямоугольным и круглым столом. Но в отличие от резания периферией круга при торцовом шлифовании одновременно участвует в резании намного больше режущих элементов-зерен (большая площадь контакта). В этой связи при торцовом шлифовании выделяется существенно больше теплоты и возможны прижог и коробление тонких заготовок. Чтобы уменьшить выделение теплоты, часто используют сегментные торцовые круги с меньшей площадью контакта.

Обработка заготовок на внутришлифовальных станках. Внутренним круглым шлифованием обрабатывают внутренние поверхности. Обработка производится следующими методами: шлифование с продольным движением подачи (рис.3.8, *а, б*), врезное шлифование с поперечным движением подачи, врезное шлифование с дополнительной осцилляцией круга (рис.3.8, *в*), шлифование с планетарным $D_{S\ пл.}$ движением круга (рис.3.8, *г*).

Бесцентровое круглое наружное шлифование. Сущность бесцентрового шлифования заключается в том, что заготовка в процессе обработки не закрепляется в центрах и других зажимных приспособлениях, а базируется на опорном ноже станка и ведущем круге (рис. 3.9). Таким образом, возможно шлифование большими партиями не только заготовок колец, гильз, но и заготовок, имеющих

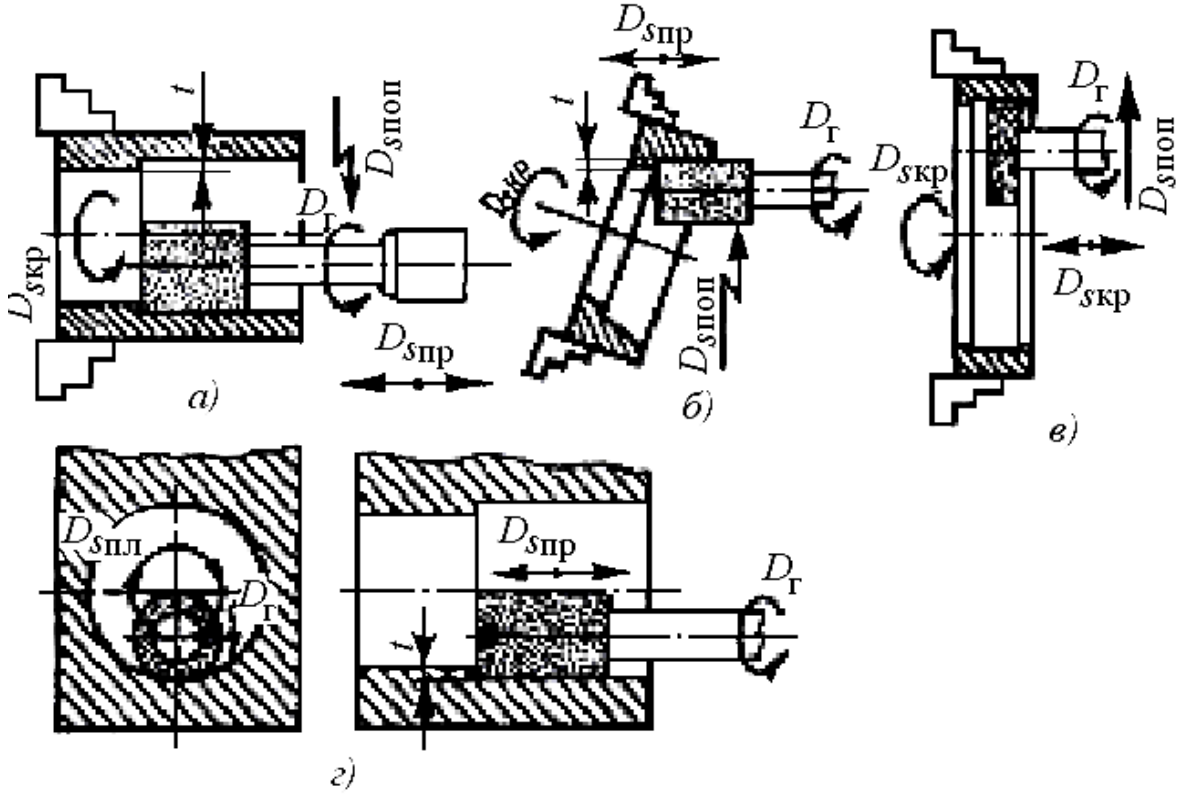


Рис.3.8. Схемы обработки заготовок на внутришлифовальных станках

большую длину и малый диаметр. Обработка заготовки (заготовок) *2* заключается в следующем. Шлифовальный *3* и ведущий *1* круги вращаются с разной частотой. Окружная скорость шлифовального круга в 50 – 60 раз выше окружной скорости ведущего круга. Конструктивно ведущий круг выполнен так же, как шлифовальный, но на основе вязких, вулканитовых связующих веществ, обеспечивающих контакт с заготовкой практически без скольжения.

Рассмотрим схему бесцентрового шлифования напроход (рис. 3.9). Меняя угол наклона ведущего круга α, можно изменять в значительной

степени угловую скорость и скорость поступательного движения заготовки. При α = 0 $V_{з\,пр.} = 0$ происходит врезное шлифование.

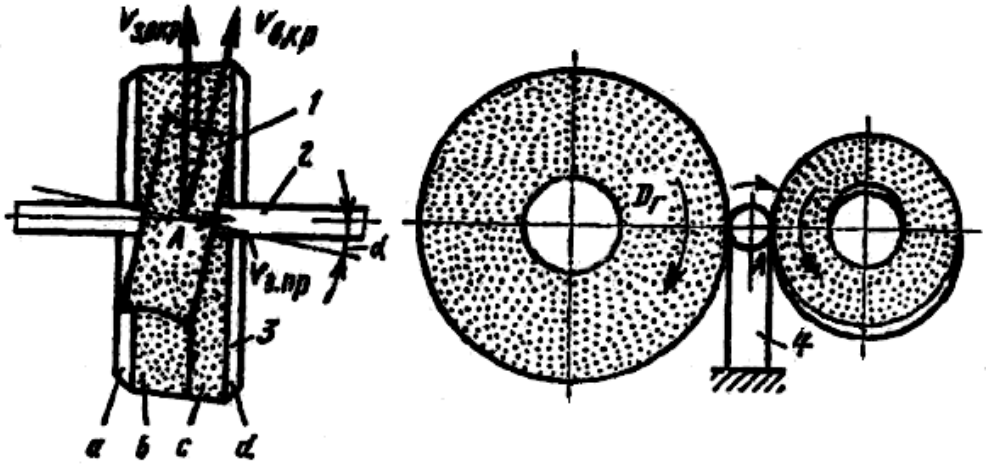


Рис. 3.9. Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке.

3.2.Элементы режима резания при шлифовании.

Элементы срезаемого слоя при шлифовании относятся не к единичным режущим зернам, а к их совокупности – режущей поверхности абразивного инструмента. Основными элементами режима резания при шлифовании являются: окружная скорость круга $V_{кр}$, окружная скорость (перемещения) заготовки $V_з$, глубина резания t, подача S.

Элементы режима резания при плоском, круглом шлифовании показаны на рис.3.2, 3.5, 3,7; а при внутреннем шлифовании – на рис. 3.8.

Скоростью (м /с) резания при шлифовании $V_{кр}$ называют линейную скорость на наибольшей окружности шлифовального круга $V_{кр} = \pi D n$, где n – частота вращения, с $^{-1}$.

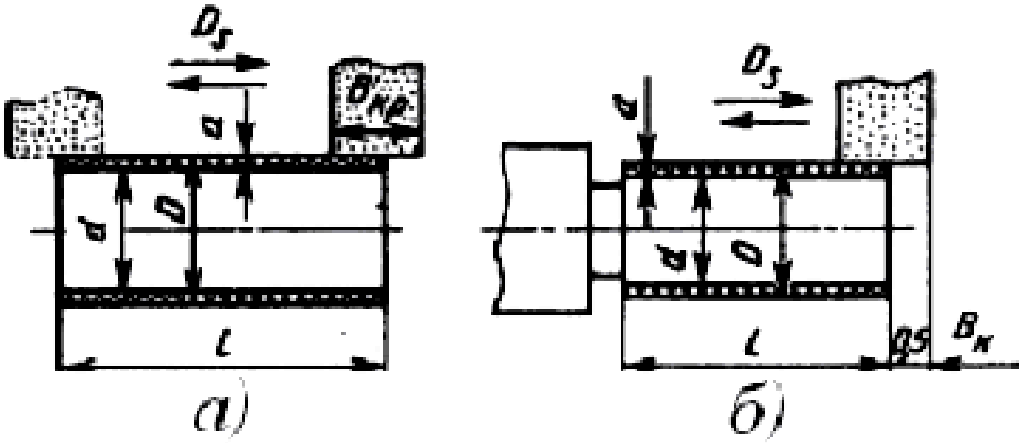
Скоростью перемещения заготовки при шлифовании называют: при плоском шлифовании – скорость перемещения стола, при круглом шлифовании – окружную скорость заготовки.

Поперечной подачей $S_{поп}$(при плоском шлифовании) и продольной подачей $S_{прод}$ (при круглом и внутреннем шлифовании) называют перемещение точки круга вдоль оси за один оборот, ход или двойной ход заготовки. Поперечную подачу измеряют в долях высоты круга H;
$S_{поп} = k \cdot H$, где k – коэффициент (табл.П3.1.9).

Глубиной резания при шлифовании называют слой металла между обработанной и обрабатываемой поверхностью, снимаемый за один рабочий ход.

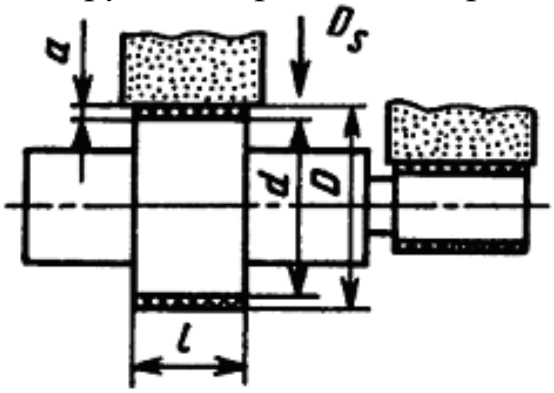
3.3.Определение основного времени при шлифовальных работах.

Наружное круглое шлифование методом продольной подачи напроход (а) и в упор (б).



$$T_{\text{о}} = \frac{L}{S_{\text{прод}} \cdot n_{\text{д}}} \cdot i \cdot K; \quad i = \frac{a}{S_{2\text{х}}}$$

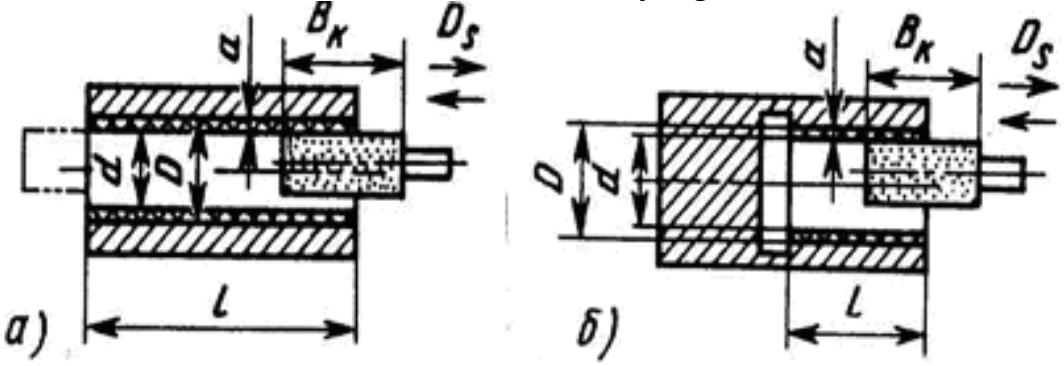
Наружное врезное шлифование



$$T_{\text{о}} = \frac{L}{n_{\text{д}} \cdot S_{\text{рад}}} \cdot K; \quad L = a = \frac{D-d}{2}.$$

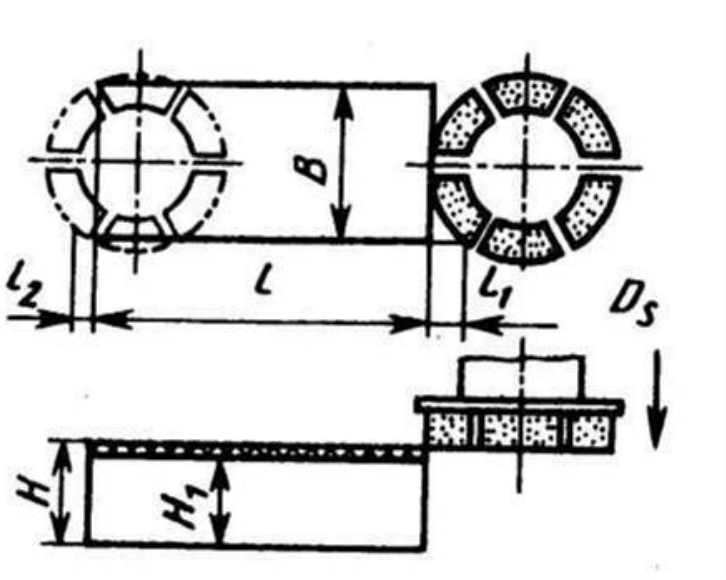
Шлифование отверстий методом продольной подачи:

а – сквозных; *б* – в упор



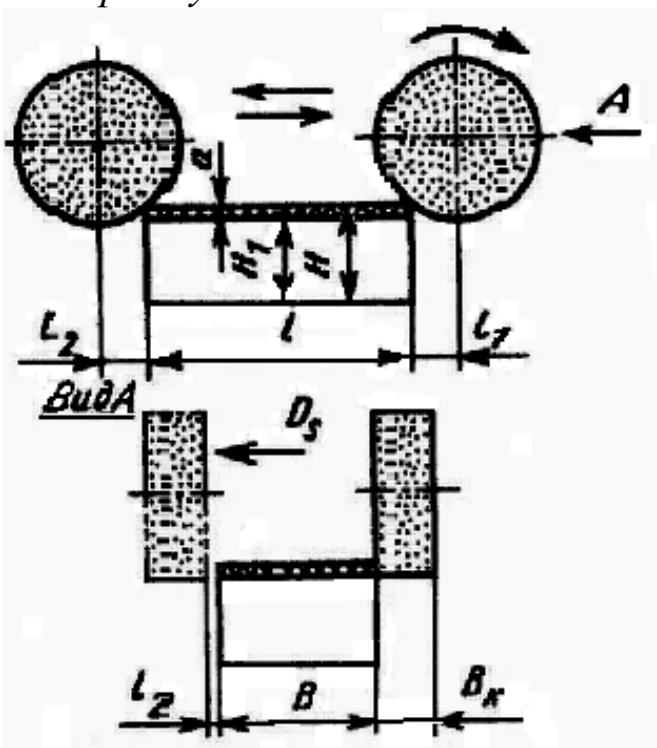
$$T_{\text{о}} = \frac{L}{S_{\text{прод}} \cdot n_{\text{д}}} \cdot i \cdot K; \qquad i = \frac{a}{S_{2\text{х}}}$$

Плоское шлифование торцом круга на станках с прямоугольным столом



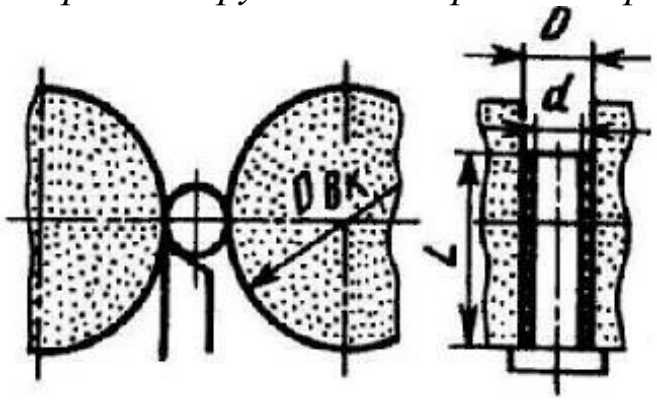
$$T_{\text{о}} = \frac{L \cdot K}{S_{\text{прод}} \cdot n_{2\text{х}}} \cdot i; \quad L = a = H - H_1$$

Плоское шлифование периферией круга на станках с прямоугольным столом



$$T_{\text{о}} = \frac{L \cdot K}{S_{\text{прод}} \cdot n_{2\text{х}} \cdot Q} \cdot i; \quad i = \frac{a}{S_{2\text{х}}}; \quad L = B + B_{\text{к}} + 10$$

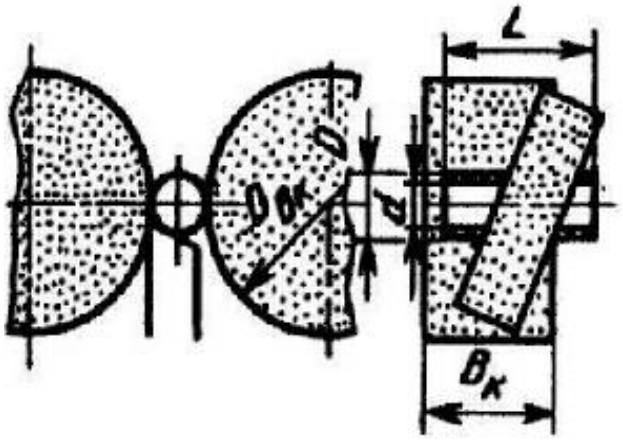
Бесцентровое наружное шлифование врезное



$$T_{\text{о}} = \frac{L}{n_{\text{д}} \cdot S_{\text{рад}}} \cdot K; \quad n_{\text{д}} = \frac{n_{\text{вк}} \cdot D_{\text{вк}}}{D}; \quad L = a = \frac{D-d}{2},$$

где $D_{\text{вк}}$ – диаметр ведущего круга

методом продольной подачи



$$T_{\text{о}} = \frac{L \cdot i}{S_{\text{м}}}.$$

3.4.Абразивные материалы.

Рабочими элементами любого абразивного инструмента являются классифицированные частицы абразивного материала, твердость которых выше твердости обрабатываемого материала. В качестве абразивного материала широко используются электрокорунды, карбид кремния, алмаз, кубический нитрид бора (эльбор). Алмазно-абразивной обработке подвергают самые различные поверхности и материалы. Наиболее широкое применение в машиностроении находят круги из электрокорунда и карбида кремния (рис. 22.12) по ГОСТ 2424 – 83, алмазные круги по ГОСТ 16167 – 80, 16172 – 80Е и др., а также эльборовые круги по ГОСТ 17123 – 79Е.

Электрокорунды (кристаллическая окись алюминия $A1_2O_3$) получают из естественных бокситов с незначительными примесями некоторых материалов. Выпускают следующие разновидности электрокорундов: нормальный (13А – 16А), белый (22А – 25А), хромистый (32А – 34А), титанистый (37А), монокорунд (43А – 45А), циркониевый (38А). По мере возрастания номера индекса растет процентное содержание окиси алюминия и увеличивается режущая способность. Легируя глинозем в процессе плавки титаном, цирконием, хромом, получают абразивные материалы с требуемыми свойствами.

Карбид кремния (карборунд) содержит 97 – 99 % SiC и незначительные примеси других элементов. Выпускают две разновидности карбида кремния: черный (53С, 54С) и зеленый (63С, 64С). Зеленый карбид кремния более хрупок, чем черный, и применяется для обработки чугуна, твердых сплавов цветных металлов, камня. Черный карбид кремния более прочен и применяется в аналогичных случаях, но более тяжелых условиях обработки.

Правильно подобранный круг работает в частичном режиме самозатачивания, т. е. изношенные зерна частично скалываются или вырываются из режущей поверхности круга, образуя или обнажая новые режущие кромки. Поэтому правильный выбор шлифовального круга имеет большое значение

3.5.Выполнение работы.

3.5.1.Цель работы.

Научиться выбирать шлифовальные круги в зависимости от материала детали и требований, предъявляемых к ней, изучить шлифовальный станок.

3.5.2.Задание по работе.

Изучить шлифовальный станок. По полученному заданию выбрать схему шлифования и круг. Ознакомиться с работой станка.

3.5.3.Ход работы.

Начертить схему обработки детали на шлифовальном станке, указав стрелками движение резания, движение подачи и вспомогательного движения.

Выбрать станок для шлифования заданной детали по техническим характеристикам станка [1].

Выбрать тип круга по области применения (табл. П3.1.1).

Основные размеры круга принимаются по техническим характеристикам станка [1].

Выбрать примерную характеристику круга в зависимости от материала детали и ее шероховатости (табл. П3.1.2).

В выбранной примерной характеристике отсутствуют ряд параметров круга, предусмотренных стандартом, поэтому ее необходимо дополнить.

Все параметры, входящие в характеристику круга необходимо расшифровать, указав:

а) абразивный материал – условное обозначение и область применения (табл. П3.1.3), получение абразивного материала, микротвердость, теплоустойчивость (табл. П3.1.4);

б) зернистость инструмента. Уточняется в зависимости от условий обработки (табл.П3.1.5), обозначается по ГОСТ 3647 – 80. Уточняется размер зерна основной фракции и выбирается индекс обозначения содержания зерна в основной фракции (процент). В зависимости от выбранного по условиям обработки процентного содержания основной фракции, номер зернистости в полной характеристике круга дополняется буквенным индексом – В, П, Н, Д;

в) твердость инструмента – параметр, характеризующий способность инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструмента в пределах установленных норм (табл. П3.1.6);

г) структура абразивного инструмента в примерной характеристике не приведена, поэтому в соответствии с требованиями ГОСТ 2424 – 83 ее необходимо выбрать по таблице П3.1.7 и привести к полной характеристике. Номер структуры обозначает соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте;

д) связка абразивного круга в примерной характеристике не указана, поэтому для полной характеристики ее необходимо выбрать по табл.П3.1.8 в соответствии с примерной характеристикой предназначена для закрепления абразивных зерен и наполнителя и является веществом или совокупностью веществ;

е) в полной характеристике абразивного круга указывается окружная скорость круга. Скорость ограничивается прочностью инструмента, принимается по табл.П3.1.8;

ж) класс точности инструмента. В зависимости от требований к зерновому составу, предельных отклонениям поверхностей, их взаимному расположению, наличию сколов, трещин и раковин абразивные круги выпускаются трех классов точности: АА, А и Б. В зависимости от требуе-

мого класса точности необходимо учитывать, что для кругов класса Б используют шлифовальные материалы со всеми индексами – В, П, Н, Д; для кругов класса точности А – только с индексами В, П, Н; для кругов класса точности АА – только с индексами В и П. Номинальные размеры инструмента и их предельные отклонения указаны в ГОСТ 2424 – 84 [5].

з) класс неуравновешенности инструмента. Во многом определяет производительность обработки, качество поверхности детали, стойкость шлифовального круга – один из показателей качества круга.

Согласно ГОСТ 3060 – К установлены четыре класса неуравновешенности кругов, обозначаемые цифрами 1, 2, 3 и 4.

Для кругов класса АА класс неуравновешенности должен быть первым, для кругов класса А – первым или вторым, для кругов точности Б – первым, вторым или третьим. Цифра класса неуравновешенности указывается в полной характеристике.

и) все выбранные параметры составляют полную характеристику абразивного круга.

к) По таблицам [1] или П3.1.9 определяются режимы резания.

л) По полученным данным изображают эскиз круга с предельными отклонениями (табл.)**9999999999**

Пример:

ПП 100 × 50 × 20 24А 10П С2 7 К5 35 м/с А 1кл. ГОСТ 2424 - 83

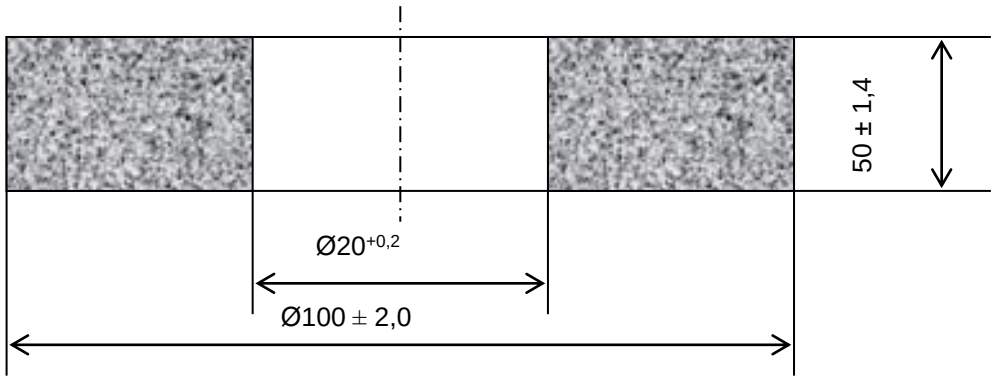


Рис. 3.10

Круг шлифовальный: тип ПП, D = 100, H =50, d = 20, белого электрокорунда марки 24А, зернистости 10П, степень твердости С2, структура 7, связка керамическая К5, рабочая скорость 35 м/с, класс точности А, класс неуравновешенности 1.

3.5.4.Отчетность по работе.

Отчет выполняется на бланке. Все рисунки и подписи к ним выполняются аккуратно карандашом

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1

Таблица П3.1.1

Применение основных типов абразивных кругов [1, 2]

Вид круга	Тип	Область применения
Плоский прямого профиля	ПП	Круглое наружное при $D < 1000$ мм. Внутреннее при $D \leq 150$ мм. Бесцентровое при $D \leq 600$мм. Плоское периферией круга. Заточка инструментов, резьбо-, шлице- и зубошлифование.
Плоский с выточкой	ПВ	Круглое внутреннее цилиндрическое шлифование шейки и торца при внутреннем шлифовании.
Плоский с конической выточкой	ПВК	Круглое шлифование шейки и торца вала.
Плоский с двухсторонней конической выточкой	ПВДК	
Плоский с двусторонней выточкой	ПВД	Круглое, плоское шлифование. Ведущий круг для бесцентрового шлифования.
Плоский с запрессованными крепежными элементами	ПН	Обдирочное шлифование.
Плоский с двусторонним коническим профилем	2П	Заточка многолезвийных инструментов, шлифование зубьев шестерен, резьбошлифование
Плоский с коническим профилем	3П	
Кольцо	К	Плоское шлифование
Чашечный цилиндрический	ЧЦ	Заточка инструмента, плоское шлифование направляющих станин станков
Чашечный конический	ЧК	
Тарельчатый	Т	Заточка и доводка передних граней зубьев фрез, заточка червячных фрез

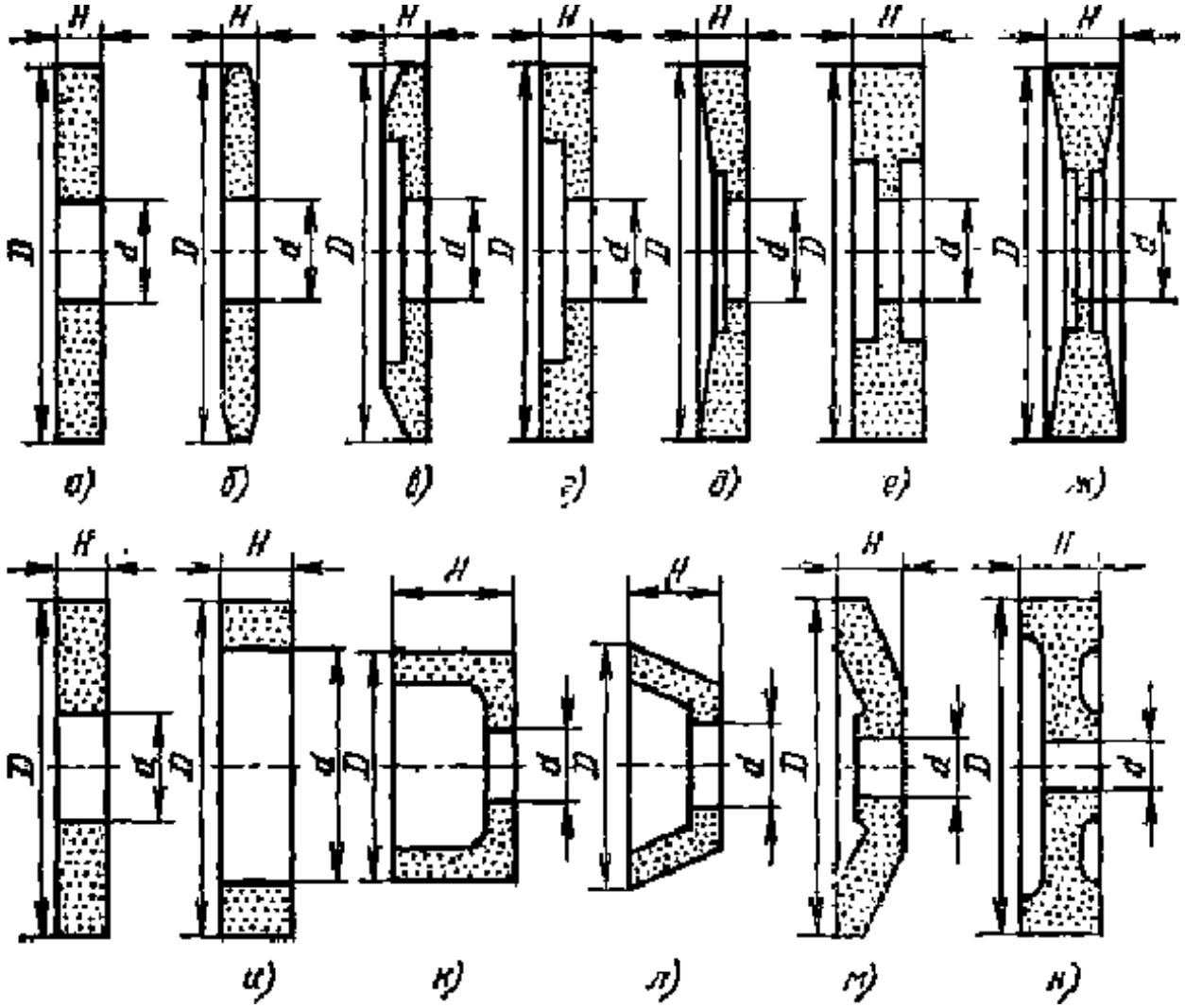


Рис.3.11. Форма сечений шлифовальных кругов по ГОСТ 2424 – 83:

а – с прямым профилем (ПП); *б* – с двусторонним коническим профилем (2П); *в* – с коническим профилем (ЗП); *г* – с выточкой (ПВ); *д* – с конической выточкой (ПВК); *е* – с двусторонней выточкой (ПВД); *ж* – с двусторонней конической выточкой (ПВДК); *з* – специальный (ПН); *и* – кольцевой (К); *к* – чашечный цилиндрический (ЧЦ); *л* – чашечный конический (ЧК); *м* – тарельчатый (Т); *н* – с двусторонней выточкой и ступицей (ПВДС).

Выбор примерной характеристики

Вид шлифования	Шероховатость, мкм	Конструкционная сталь	
		незакаленная	закаленная
Круглое наружное	3,2 - 5,0 1,6 - 2,5 0,8 - 1,25 0,4 - 0,63	15А 40-50 СМ2-С1К 15А 32-40 С1-С2К 15А, 23А 32-40 С1СТ1К 23А, 16-25 С2СТ1К	15А 40-50 СМ1-СМ2К 15А 32-40 СМ2-С1К 15А, 23А 32-40 СМ2С1К 23А 16-25 С1-С2К
Круглое внутреннее	3,2 - 5,0 1,6 - 2,5 0,8 - 1,25 0,4 - 0,63	15А 40-50 СМ2-С1К 15А 32-40 С1-С2К 15А, 23А 25 С2К 15А, 23А 16 С2К	15А 40-50 СМ2К 15А 32-40 СМ2-С1К 15А, 23А 25 С1К 15А, 23А 16 С2К
Плоское периферией круга	3,2 - 5,0 1,6 - 2,5 0,8 - 1,25 0,4 - 0,63	15А 50 СМ2К 15А 40 СМ2К 15А 25 С1К 15А 16 С1К	15А 50 М3-СМ1К 15А 40 М3-СМ1К 15А 25 СМ1-СМ2К 15А 16 СМ1-СМ2К
Плоское торцом круга	3,2 - 5,0 1,6 - 2,5 0,8 - 1,25 0,4 - 0,63	15А 50 СМ1Б 15А 40 СМ1Б 15А 25 СМ2Б 15А 25 СМ2Б	15А 50 СМ1-СМ2Б 15А 40 М2-СМ1Б 15А 25 М3-СМ1Б 15А 25 М3-СМ1Б
Бесцентро-вое	3,2 - 5,0 1,6 - 2,5 0,8 - 1,25 0,4 - 0,63	15А 50 С2К 15А 40 СТ1К 15А, 23А 32 СТ1К 23А 16-25 СТ2К	15А 50 СМ2-С1К 15А 40 СМ2-С2К 15А, 23А 32 СМ1-С1К 23А 16-25 С1-СТ1К

Таблица П3.1.2

абразивных кругов

Быстрорежущая закаленная сталь	Чугун и бронза	Твердый сплав
23А 40-50 СМ1К 23А 32-40 СМ1К 44А, 23А 32-40 СМ2К 44А, 23А 16-25 СМ2К	53С 40-50 СМ1К 53С 32-40 СМ1К 15А, 53С 32-40 СМ2К 15А, 53С 16-25 СМ2К	63С 40-50 СМ1К 63С 32-40 СМ1К 63С 32-40 СМ2БК 63С 16-25 СМ2БК
23А 40-50 СМ2-С1К 23А 32-40 СМ2-С1К 44А,23А32-40СМ1-СМ2К 44А,23А16-25СМ1-СМ2К	53С 50 СМ1К 53С 40 СМ1К 53С, 15А 25 СМ2К 53С, 15А 16 С1К	63С 40-50 М3К 63С 32-40 М3К 63С 25-32 СМ1К 63С 16-25 СМ1К
23А 40-50 СМ2-С1К 23А 32-40 СМ2-С1К 23А 32-40 СМ1-СМ2К 23А 16-25 СМ1-СМ2К	53С, 15А 50 СМ2К 53С, 15А 40 СМ2К 53С, 15А 25 С1К 53С, 15А 16 С1К	63С 40-50 СМ1К 63С 32-40 СМ2К 63С 32-40 М3-СМ1К 63С 16-25 М3-СМ1К
15А 50-80 СМ1-СМ2Б 15А 40-50 СМ1-СМ2Б 15А 32-40 М3-СМ2Б 15А 25 М3-СМ2Б	53С, 15А 50 СМ2Б 53С, 15А 40 СМ2Б 53С, 15А 25 С1Б 53С, 15А 25 С1Б	63С 40-50 М3-СМ1Б 63С 32-40 М3-СМ1Б 63С 32-40 М2-М3Б 63С 16-25 М2-М3Б
23А 40-50 СМ1-СМ2К 23А 32-40 СМ1-СМ2К 44А,23А 32-40 М3-СМ1К 44А,23А 16-25 М3-СМ1К	53С 50 СМ2К 53С 40 СМ2К 53С, 15А 25 С1К 53С, 15А 16 С2К	63С 32-40 СМ1К 63С 32-40 СМ1К 63С 25 СМ1К 63С 16 М3-СМ1К

Таблица П3.1.3

Марки и область применения абразивных материалов [1]

Материал зерна, марка	Область применения
1	2
Электрокорунд нормальный 12А, 13А, 14А, 15А	Обдирочное шлифование стальных заготовок кругами на органических связках, обработка углеродистой и легированной стали, ковкого и высокопрочного чугуна, легированной бронзы, никелевых и алюминиевых сплавов. Шлифование стальных заготовок кругами на органических и неорганических связках. Предварительное шлифование с большим объемом съема и получистовое шлифование.
Электрокорунд белый 23А,22А, 24А,25А	То же. Шлифование закаленных стальных заготовок кругами на всех связках. Окончательное и профильное шлифование, резьбошлифование инструментальной и легированной конструкционной стали. Скоростное шлифование, доводка стальных закаленных заготовок. Шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов.
Электрокорунд хромистый 32А, 33А, 34А	Шлифование доводка и отделка изделий из углеродистой и конструкционной сталей в незакаленном и закаленном состояниях. Применяется для заточки режущего инструмента.
Электрокорунд титанистый 37А	Скоростное шлифование стальных заготовок кругами на керамической и бакелитовой связках. Предварительное шлифование с увеличенным съемом металла.
Электрокорунд циркониевый 38А	Обдирочное силовое шлифование стальных заготовок кругами на бакелитовой связке при высоких скоростях и подачах.
Микрокорунд 43А, 44А	Шлифование и заточка. Шлифование труднообрабатываемых сталей и сплавов инструментом на керамических связках, прецизионное шлифование деталей сложных профилей.
Электрокорунд хромотитанистый 91А, 92А, 93А, 94А	Шлифование на получистовых и чистовых режимах закаленных изделий из углеродистых, конструкционных, быстрорежущих и труднообрабатываемых сталей кругами на всех связках. Шлифование стальных закаленных и незакаленных заготовок кругами на керамической и бакелитовой связках.

Окончание табл.П.3.1.3

1	2
Карбид кремния черный 53С, 53С, 54С	Обработка заготовок из чугуна, цветных металлов, вольфрамовых твердых сплавов. Тяжелые обдирочные и заточные работы (53С). Обработка заготовок из чугуна, цветных металлов и вольфрамовых твердых сплавов.
Карбид кремния зеленый 62С,63С,64С	Обработка заготовок из чугуна, алюминия, меди инструментом на всех связках. Обработка титановых и титанотанталовых твердых сплавов инструментом на всех связках. Обработка заготовок из чугуна, алюминия, меди инструментом на всех связках. Скоростное шлифование заготовок из чугуна заготовок кругами на керамической связке. Чистовая заточка твердосплавного инструмента.

Таблица П3.1.4

Получение абразивного материала, микротвердость, теплоустойчивость

Абразивный материал	Получение	Микротвердость, кГс /мм	Теплоустойчивость, °С
Электрокорунд нормальный	в дуговых печах восстановительной плавки высокосортного углеродистого материала и железной стружки	1900 – 2000	1700 – 1800
Электрокорунд белый	расплавлением глинозема (чистой окиси алюминия) в дуговой печи	2000 – 2100	1700 – 1800
Электрокорунд хромистый	в дуговых печах плавки глинозема с добавкой окиси хрома (до 2%)	2000 – 2200	1700 – 1800
Электрокорунд циркониевый	в дуговых печах плавки глинозема и двуокиси циркония	2300 – 2400	1900 – 2000

Окончание табл.П3.1.4

Абразивный материал	Получение	Микротвердость, кГс/мм	Теплоустойчивость, °С
Электро-корунд титанистый	Сплав окиси алюминия с окисью титана	2200 – 2300	1700 – 1800
Моно-корунд	Сплавлением в электродуговых печах боксита с сернистым железом и восстановителем. После выщелачивания шлака материал распадается на монокристальные частицы	2300 – 2400	1700 – 1800
Карбид кремния черный	Сырье: жильный кварц, кварцевые пески, кварциты, нефтяной кокс, антрацит. В электрических печах сопротивления силицированием частиц углерода	3300 – 3600	1300 – 1400
Карбид кремния зеленый	– " –	3300 – 3600	1300 – 1400

Таблица П3.1.5

Зернистость абразивных материалов [1]

<table>
<tr><th rowspan="2">Зернистость по ГОСТ 3647 – 80</th><th rowspan="2">Размер основной фракции, мкм</th><th colspan="4">Индекс обозначения содержания основной фракции</th><th rowspan="2">Область применения</th></tr>
<tr><th>В</th><th>П</th><th>Н</th><th>Д</th></tr>
<tr><td>200
160</td><td>2500 – 2000
2000 – 1600</td><td rowspan="8">55</td><td rowspan="6">45</td><td rowspan="6">41</td><td>Обдирочное силовое шлифование</td></tr>
<tr><td>125
100
80</td><td>1600 – 1250
1250 – 1000
1000 – 800</td><td>Обдирочные операции; зачистка отливок, поковок и др. заготовок</td></tr>
<tr><td>63
56</td><td>800 – 630
630 – 500</td><td>Предварительное круглое нарезание, внутреннее, бесцентровое и плоское шлифование с шероховатостью поверхности Ra = 2,5 ÷ 0,63. Шлифование вязких материалов отреза, правка инструмента.</td></tr>
<tr><td>40
32</td><td>500 – 400
400 – 315</td><td>Предварительное и чистовое шлифование деталей с шероховатостью поверхности Ra = 2,5 ÷ 0,32. Заточка режущего инструмента</td></tr>
<tr><td>25
20
16</td><td>315 – 250
250 – 200
200 – 160</td><td>Чистовое шлифование до шероховатости Ra = 1,2 ÷ 0,16. Шлифование хрупких материалов</td></tr>
<tr><td>12
10</td><td>160 – 125
125 – 100</td><td>Отделочное шлифование до шероховатости Ra = 0,63 ÷ 0,16. Предварительное хонингование.</td></tr>
<tr><td>8
6</td><td>100 – 80
80 – 63</td><td colspan="2" rowspan="2">40</td><td>Чистовое и тонкое шлифование деталей из твердых сплавов, металлов, стекла и других неметаллических материалов. Резьбошлифование, чистовое хонингование</td></tr>
<tr><td>5
4</td><td>63 – 50
50 – 40</td><td>Отделочное шлифование хрупких материалов, резьбошлифование</td></tr>
</table>

Таблица П3.1.6

Маркировка и применение инструмента в зависимости от вида обработки [1]

Область применения	Обозначение степени твердости по ГОСТу	Твердость круга
Правка абразивных инструментов, шлифование торцов шарикоподшипников	ЧТ2, ЧТ1 ВТ2, ВТ1	Чрезвычайно твердый, Весьма твердый
Обдирочные операции, ведущиеся вручную; отрезка; круглое наружное шлифование методом врезания ведущие круги бесцентрового шлифования; хонингование отверстий малого диаметра.	Т2, Т1, СТ3, СТ2	Твердый, Среднетвердый
Предварительное круглое наружное и бесцентровое шлифование сталей (преимущественно незакаленных) и чугуна. Хонингование и резьбошлифование кругами на бакелитовой связке; обработка прерывистых поверхностей.	СТ2, СТ1, С2	Средний
Плоское шлифование сегментами и кольцевыми кругами; резьбошлифование кругами на бакелитовой связке.	СТ1, С2, С1	Средний
Чистовое и комбинированное круглое, наружное, бесцентровое и внутреннее шлифование сталей, плоское шлифование периферией круга, резьбошлифование деталей с крупным шагом. Заточка режущих инструментов вручную или с механической подачей.	С2, С1, СМ2, СМ1	Средний
Плоское шлифование торцом круга. Обработка цветных металлов, закаленных сталей, чистовое шлифование.	СМ2, СМ1, М3, М2	Мягкий
Заточка и доводка режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, шлифование труднообрабатываемых специальных сплавов.	М3, М2, М1	Мягкий

Таблица П3.1.7

Структуры шлифовальных кругов в зависимости от вида обработки [1,2]

Номер структуры	Объемное содержание шлиф. материала, %	Область применения
1,2,3	60,58,56	Шлифование деталей с малым съемом материала кругами на бакелитовой и керамической связках.
3,4	56, 54	Отрезка, шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой; шлифование твердых и хрупких материалов.
5,6	52,50	Круглое наружное бесцентровое плоское периферией круга; шлифование металлов с высоким сопротивлением разрыву.
7,8	48, 46	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву. Внутренне шлифование, заточка инструментов, плоское шлифование торцом круга.
9,10, 11,12	44,42,40,38	Скоростное шлифование. Профильное шлифование мелкозернистыми кругами. Шлифование резьбы. Шлифование и заточка инструмента, твердым сплавом
14,15, 16	36,34,32,30	Шлифование неметаллических материалов, металлов с низкой теплопроводностью (устранение отжигов и трещин).

Таблица П3.1.8

Связки абразивных инструментов и область их применения [2]

Маркировка связки	Область применения	Состав и особенности связки
Неорганические		
Керамическая		
К1-К6, К8, К10	Инструмент общего назначения для всех видов шлифования кроме отрезных и прорезных работ	Огнеупорная глина, полевой шпат, тальк, кварц, растворимое стекло Высокая водоупорность, Температурная и химическая стойкость, чувствительность к ударным и изгибающим нагрузкам.
К2, К3	Инструмент из карбида кремния для всех видов шлифования и заточки	

Продолжение табл.П3.1.8

Маркировка связки	Область применения	Состав и особенности связки
К1, К5, К8	Инструмент повышенной прочности – кромкостойкости для скоростного, профильного, врезного прецизионного шлифования.	Окружная скорость шлифования круга до 35 м /с.
Магнезиальная		
МГ	Сухое шлифование на заточных и зачистных операциях при обработке деталей прямого профиля не требующих выдерживания точных размеров	Каустический магнезит и хлористый магний (магнезиальный цемент). Чувствительность к влаге и холоду, уменьшенное выделение тепла в зоне резания. Круг плохо сохраняет рабочий профиль. Окружная скорость круга до 20 м /с.
Силикатовая		
С	Плоское сухое шлифование торцом круга; шлифование особо чувствительных к перегреву деталей, а также в случаях, когда круг имеет большую площадь контакта с деталью.	Растворимое стекло (силикат натрия), окись цинка, мел, пластичная глина. Малая сцепляемость с зернами способствует самозатачиваемости. Круги размягчаются при работе с охлаждающей жидкостью.
Органические		
Бакелитовая		
Б	Инструмент с повышенной режущей способностью для шлифования деталей, имеющих склонность к прижогам, зачистное и обдирочное шлифование, заточка и хонингование	Фенолформальдегидные смолы, фурфуры. Высокая прочность и упругость. Разрушается под действием 15%-ой щелочной охлаждающей жидкости. Не выдерживает температуру больше 250°С. Окружная скорость круга: 50 – 65 м /с – для кругов общего назначения, 80 – 100 м/с для отрезных, обдирочных работ, заточки режущих инструментов. Круги имеют упрочняющие элементы
Б1	Инструмент общего назначения. Для плоского, внутреннего шлифования, заточки, разрезных работ.	
Б2	Инструмент для торцешлифования сегментными кругами	

Окончание табл.П3.1.8

Маркировка связки	Область применения	Состав и особенности связки
Б3	Инструмент для резьбошлифовальных и отрезных работ, хонингования.	То же
БП2, БУ, Б156	Инструмент повышенной прочности для скоростного шлифования, зачистки литья и поковок, отрезных работ.	
Глифталевая		
ГФ	Чистовое и отделочное шлифование.	Глифталевая смола. Повышенная упругость по сравнению с бакелитовой связкой
Вулканитовая		
В,В1	Инструмент общего назначения, ведущие круги бесцентрового шлифования, отрезные работы, обработка фасонных поверхностей, хонингование незакаленной стали	Каучук и наполнители (окись магния, окись цинка, сажа и др. Высокая упругость. Разрушается при температуре выше 1500С. Непригодна для снятия больших припусков, так как имеет плотную структуру и склонна к засаливанию. Окружная скорость круга до 80 м/с
В2	Инструмент повышенной прочности для скоростного шлифования и резьбошлифования.	
В3,В5	Инструмент повышенной режущей способности для профильной обработки подшипников качения, чистового шлифования цилиндрических и некруглых поверхностей	

Технические требования на шлифовальные круги [5].

Предельные отклонения размеров кругов должны соответствовать указанным в табл. П3.1.9

Таблица П3.1.9

Наружный диаметр, мм

D	Предельные отклонения для классов точности	
	АА	А, Б
До 6	± 0,3	± 0,4
Св 6 » 30	± 0,5	± 0,8
» 30 » 50	± 0,8	± 1,2
»50 » 80	± 1,0	± 1,6
» 80 » 180	± 1,2	± 2,0
»180 » 260	± 1,5	± 2,7
» 260 » 500	± 2,0	± 4,0
» 500 » 800	± 2,5	± 5,0
» 800	± 3,0	± 6,0

Таблица П3.1.10

Высота, мм

T	Предельные отклонения для классов точности	
	АА	А, Б
До 3	± 0,10	± 0,3
Св 3 » 6	± 0,15	± 0,5
» 6 » 10	± 0,20	± 0,6
»10 » 16		± 0,9
» 16 » 40		± 1,2
» 40 » 100	± 1,5	± 1,4
» 100	± 2,0	± 2,0

Таблица П3.1.11

Диаметр посадочного отверстия(кроме кругов типов ПН и К), мм

H	Предельные отклонения для классов точности		
	АА	А	Б
До 10	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2
Св 10 » 18			+ 0,3
Св 18 » 50			
Св 50 » 80	+ 0,2		+ 0,4
Св 80 » 120			+ 0,5
Св 120 » 180		+ 0,3	
Св 180 » 260			+ 0,6
Св 260	+ 0,3	+ 0,4	

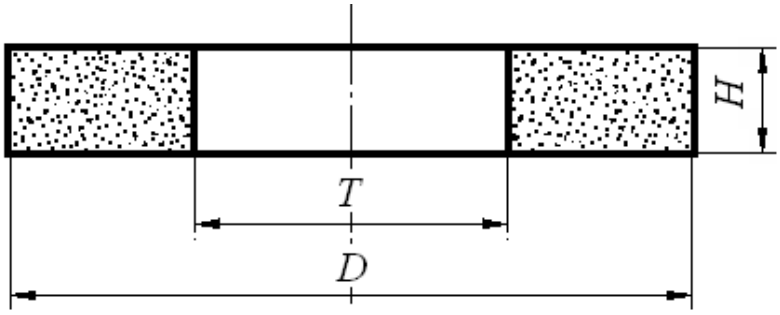


Рис..П3.1Размеры круга.

ТаблицаП3.1.12

мм

D	*T*	*H*	*D*	*T*	*H*
3	6,0; 8,0; 10,0	1,0	8	(6,0); (10,0); 16,0	4,0
4	1,0; 1,3; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	1,6	10	3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0 16,0; 20,0	3,0
5	8,0	2,0		(6,0); (10,0); 135Q; 16,0	4,0
	2,0		13	3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10i,0; 13,0; 16,0; 20,0	
6	6,0; 8,0; 10,0	1,6.		10,0; 13,0; 16,6; 20,0	6,0
	2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0	2,0	16	3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	
8	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; (16,0)	3,0	20	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	

Продолжение табл. П3.1.12

D	*T*	*H*	*D*	*T*	*H*
20	(16,0); 25,0; 32,0	8,0	63	13,0	16,0
25	3,2; 4,0; 5,0; 6,0 8,0: 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	6,0		6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0	20
	13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	8,0	80	3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0	
	16,0; 20,0; 25,0; 32,0	10,0			
32	(6,0); 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0		100	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	13,0
	2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	6,0		4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0	20,0.
	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	13,0		4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0	32,0
40	6,0; 8,0; 10,0	6,0	125	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0	32
	2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0'; 8,0; 10,0;	8,0; 10,0		(6,0); (8,0); (10,0); (13,0); (16,0); 20,0; (25,0); (32,0); (40,0); (50,0); (63,0);	20,0
	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0	13,0		(6,0); (8,0); (10,0); (13,0); (16,0); (20,0); 25,0; 32,0; 40,0 50,0; 63,0; 80,0; 100,0	51,0
	32,0; 40,0; 50,0; 63,0	16,0	150	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; (63,0)	20,0; 32,0
50	4,0; 5,0	10,0		6,0; 8,0; 10,0; 13,0 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0	51,0
	(6,0); (8,0); 10,0; 13,0; (16,0); (20,0); (25,0); (32,0); 40,0; (50,0)	13,0	175	5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0	32,0
	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0	16,0		3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0;32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0	
63	3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0;	10,0	200	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0 (32,0); (40,0); (50,0); (63,0); (80,0); (100,0)	51

Окончание табл. П3.1.12

D	*T*	*H*	*D*	*T*	*H*
200	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25Д 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160',0; 200,0	76,0	450	6,0; 8,05 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0	127,0
250	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0	32,0 51,0		6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63; 80,0; 100,0	203,0
	2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; (80,0); (100,0); (125,0)	76,0	500	10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0	203,0
	2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63.0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0	127,0		8,0; 10,0; 13,0; 16,0 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0; 250,0	305,0
300	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0	32,0; 76,0	600	10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0*; 80,0*; 100,0*; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0; 250,0*	
	2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0 200,0	127,0		10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 125,0; 160,0; 200,0	203,0
350	32,0; 40,0; 50',0;	76,0	750	16,0; 20,0; 25,0; 32,0 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0; (250,0)	305,0
	5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; (150,0); 160,0; 200,0	127,0; 203,0			
400	6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; (125,0); (150,0); 160',0; 200,0	127,0	900	25,0; 32,0; 40,0; 50,0*; 63,0*; 80,0*; 100,0*; 125,0	
	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; (125,0); (150,0); 160,0; 200,0	203,0	1060	40,0*; 50,0*; 63,0*; 80,0*; 100,0*; 125,0*	

* Должны изготовляться на керамической связке классов точности АА или А.

Примечание. Размеры, заключенные в скобках, применять не рекомендуется

Таблица П3.1.10

Параметры резания при различных видах шлифования

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $V_к$, м/с	Скорость заготовки $V_з$, м /мин	Глубина шлифования t,мм	Продольная подача S	Радиальная подача $S_р$, мм/об
Круглое наружное шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	С продольной подачей на каждый ход: предварительное	30–35	12 – 25	0,01 – 0,025	(0,3 – 0,7)B	
	окончательное		15 –55	0,005 – 0,015	(0,2 – 0,4)B	
	С продольной подачей на двойной ход		20 – 30	0,015 – 0,05	(0,3 – 0,7)B	
	Врезное: предварительное		30 – 50	–	–	0,0025- – 0,075
	окончательное		20 – 40			0,001 – – 0,005
Круглое внутреннее шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках общего назначения: предварительное	30 – – 35	20 – 40	0,005 – 0,02	(0,4 – 0,7)B	–
	окончательное			0,0025– 0,01	(0,25 – 0,4)B	
	На полуавтоматических станках: предварительное		50 – 150	0,0025– 0,005	(0,4 – 0,75)B	
	окончательное			0,0015 – 0,0025	(0,25 – 0,4)B	

Продолжение табл.П3.1.10.

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $V_к$, м /с	Скорость заготовки $V_з$, м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача S	Радиальная подача $S_р$, мм/об
Круглое бесцентровое шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На проход: предварительное при $d \leq 20$мм	30 – – 35	20 – 120	0,02 – 0,05	0,5 – 3,8 м/мин	–
	предварительное при $d > 20$мм			0,05 – 0,2		
	окончательное		40 – 120	0,0025–0,01	1,2 – 2,0 м/мин	
	Врезное: предварительное		10 – 45	–	–	0,001– 0,005
	окончательное		10 – 30			
Плоское шлифование периферией круга						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках с круглым столом: предварительное	30 – – 35	20 – 60	0,005– 0,015	(0,3 – 0,6)B	
	окончательное		40 – 60	0,005– 0,01	(0,2 – 0,25)B	
	На станках с прямоугольным столом в серийном производстве: предварительное		8 – 30	0,015 – 0,04	(0,4 – 0,7)B	
	окончательное		15–20	0,005 – 0,015	(0,2 – 0,3)B	
	На станках с прямоугольным столом инструментального типа: предварительное		3 – 8	0,05 – 0,15	1,0 –2,0 мм/ход	
	окончательное			0,005 – 0,015	1,0 – 1,5 мм/ход	

Окончание табл.П3.1.10

.

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $V_к$, м /с	Скорость заготовки $V_з$, м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача S	Радиальная подача $S_р$, мм /об
Плоское шлифование торцом круга						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках с круглым столом: предварительное	25 – – 30	4 – 12	0,015 – 0,04	–	–
	окончательное		2 – 3	0,005 – 0,01		
	На станках с круглым столом с вертикальной подачей на каждый оборот стола: предварительное		10 – 40	0,015 – 0,03	–	
	окончательное			0,005		
	На станках с круглым столом одно-проходного шлифования с автоматической подачей заготовок: предварительное		2 – – 3	0,1 – 0,15	–	
	окончательное			0,005		

Примечания:1. B – толщина круга, мм.

2. Для расчета мощности при круглом шлифовании, если значение продольной подачи приведено в м /мин продольную подачу в мм /об заготовки по формуле, $S(\text{мм/мин}) = S(\text{м/мин}) \times \frac{\pi \cdot d}{1000 \cdot V_З}$

где d – диаметр заготовки, мм $V_з$ – окружная скорость заготовки, м/мин.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2

Круглошлифовальный станок 3М131

Наибольший диаметр и длина шлифуемой поверхности: 200 ×700 мм. Мощность двигателя шлифовальной бабки $N_{дв}$ = 7,5 кВт; КПД станка – 0,8. Частота вращения обрабатываемой заготовки: 100 ÷ 600 мин$^{-1}$.Частота вращения круга, мин$^{-1}$: 40 ÷ 400 (регулируется бесступенчато). Скорость продольного хода стола 50 ÷ 5000 мм/мин (регулируется бесступенчато). Периодическая поперечная подача шлифовального круга 0,002 ÷ 0,1 мм/ход стола (регулируется бесступенчато). Непрерывная подача для врезного шлифования 0,1 – 4,5 мм /мин. Размеры шлифовального круга (нового): D_K = 600 мм; $B_К$ = 63 мм.

Внутришлифовальный станок 3К228В

Наибольший диаметр шлифуемого отверстия: 200 мм; наибольшая длина обрабатываемой поверхности: 200 мм. Мощность двигателя шлифовального шпинделя $N_{дв}$ = 5,5 кВт; КПД станка – 0,85. Частота вращения обрабатываемой заготовки: 100 ÷ 600 мин$^{-1}$ (регулируется бесступенчато). Частота вращения круга, мин$^{-1}$: 4500; 6000; 9000; 13000. Скорость продольного хода стола 50 ÷ 5000 мм/мин (регулируется бесступенчато). Периодическая поперечная подача шлифовальной бабки 1–7 м /мин (регулируется бесступенчато). Поперечная подача шлифовального круга, мм /ход: 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006. Наибольшие размеры шлифовального круга: $D_К$ = 175 мм; $B_К$ = 63 мм.

Плоскошлифовальный станок 3П722

Площадь рабочей поверхности стола 320×1250. Мощность двигателя шлифовального шпинделя $N_{дв}$ = 15 кВт; КПД станка – 0,85. Частота вращения шлифовального круга 1500 мин$^{-1}$. Скорость продольного хода стола 3 ÷ 45 м/мин (регулируется бесступенчато). Вертикальная подача круга, мм на реверс шлифовальной бабки: 0,004; 0,005; 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,03; 0,08; 0,085; 0,09; 0,095; 0,1. Размеры шлифовального круга (нового): $D_К$ = 450 мм; $B_К$ = 80 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова.- М.: Машиностроение, 1986, 496 с., ил.
2. Справочник инструментальщика, М. Машиностроение, 1987. 846 с.
3. Обработка металлов резанием: Справочник технолога./А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А. А. Панова.– М.: Машиностроение 1988. – 736 с.: ил.
4. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. М. 1977.
5. ГОСТ 2424-84 Круги шлифовальные.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985,

659 с., ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.РАБОТА. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОЧЕНИИ 1
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 12
Таблица П.1.7 15
Значение коэффициента C_V и показателей степени в формулах 15
скорости резания при обработке резцами 15
Таблица П1.8 16
Режимы резания при тонком точении и растачивании 16
ЛИТЕРАТУРА. 16
2.РАБОТА. ВЫБОР И ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА 17
2.1.Общие сведения. 17
2.2. Выполнение работы. 17
2.3. Оформление отчета 18
2.4. Характеристика методов обработки металлов. 19
Режим резания при сверлении. 21
Таблица 2.2. 21
Качество отработанной поверхности отверстий 21
Таблица 2.3. 22
Последовательность обработки отверстий с использованием 22
сверления, зенкерования и развёртывания 22
Таблица 2.4 24
Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток 24
Рекомендуемые режимы резания при сверлении 25
деталей из стали, алюминиевых сплавов и чугуна 25
Таблица 2.5 25
Рекомендуемые группы подач при обработке отверстий 25

в зависимости от условий обработки 25
Таблица 2.6 26
Подачи S_O^*, мм /об, при обработке отверстий в деталях из стали, ... 26
Таблица 2.7 27
Скорость резания *V*, м/мин при обработке отверстий 27
в стальных деталях 27
Поправочные коэффициенты на скорость резания 28
Таблица 2.8 28
Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики 28
обрабатываемого материала 28
Таблица 2.9 28
Коэффициент k_{TV} в зависимости от периода стойкости инструмента 28
Таблица 2.10 29
Коэффициент k_{lV} в зависимости от глубины обработки 29
Таблица 2.11 29
Скорость резания *V*, м/мин при обработке отверстий в чугунных деталях 29
Поправочные коэффициенты на скорость резания 29
Таблица 2.12 29
Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики 29
обрабатываемого металла 29
Таблица 2.13 30
Коэффициент k_{Tv} в зависимости от периода стойкости инструмента T_M 30
Таблица 2.14 30
Коэффициент k_{lV} в зависимости от глубины обработки 30
Рекомендуемые режимы резания при рассверливании 30
деталей из стали, алюминиевых сплавов и чугуна 30
Таблица 2.15 30
Подача S_O, мм /об 30
Таблица 2.16 31
Скорость резания *V*, м/мин. 31
Поправочные коэффициенты на скорость резания 32
Таблица 2.17 32
Коэффициент k_{TV} в зависимости от стойкости инструмента 32
Таблица 2.18 32
Коэффициент k_{MV} в зависимости от характеристики 32
обрабатываемого металла 32
Таблица 2.19 32
Скорость резания при развертывании отверстий в стальных деталях 32
Таблица 2.20 33
Поправочный коэффициент k_{MV} на скорость резания в зависимости 33
от обрабатываемого металла 33
Таблица 2.21 33
Режимы резания при развертывании отверстий в чугунных деталях 33
Таблица 2.22 33
Поправочный коэффициент k_{MV} на скорость резания в зависимости 33

от обрабатываемого металла 33
Таблица 2.23 33
Режимы резания при развертывании отверстий в чугунных деталях 33
Таблица 2.24 36
Скорость резания, м /мин, для протяжек из быстрорежущей стали Р6М5 36
Таблица 2.25 36
Группы скорости резания при протягивании стали и чугуна 36
Таблица 2.26 40
Рекомендуемые значения габаритных размеров в мм и числа зубьев цельных фрез 40
Режим резания при фрезеровании. 41
Таблица 2.27 43
Подачи при фрезеровании стальных заготовок шпоночными 43
фрезами из быстрорежущей стали 43
Таблица 2.28 44
Подача на зуб фрезы S_Z, мм/об, при обработке плоскостей 44
Таблица 2.29 45
Подачи на зуб S_Z, мм/зуб, при обработке пазов 45
Таблица 2.30 46
Средние значения периода стойкости T фрез 46
Таблица 2.31 46
Скорость резания V, м/мин, при обработке деталей из стали 46
Таблица 2.32 47
Скорость резания V, м/мин, при обработке деталей из чугуна 47
и алюминиевых сплавов 47
Поправочные коэффициенты на скорость резания. 49
Таблица 2.33 49
Коэффициент $k_д$ в зависимости от отношения диаметра фрезы к глубине ... 49
или ширине фрезерования 49
Таблица 2.34 50
Коэффициент k_{MV} зависимости от характеристики 50
обрабатываемого материала 50
Таблица 2.35 50
Коэффициент k_{TV} в зависимости от стойкости инструмента 50
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1 51
Таблица П2.1.2 52
Протяжные станки 52
Таблица П2.1.1 53
Зависимость скоростей рабочего хода и допускаемых сил на ползуне ... 53
от длины обрабатываемой поверхности и числа двойных ходов 53
ползуна в 1 мин 53
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2 54
Таблица П2.2.2 55
Значения коэффициента C_V и показателей степени в формуле 55

скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании 55
Таблица П2.2.3 56
Значения коэффициента C_V и показателей степени в формуле 56
скорости резания при фрезеровании 56
Таблица П2.2.4 59
Суммарная величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе 59
сверлами, зенкерами и развертками 59
Таблица П2.2.5 59
Суммарная величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе 59
концевыми фрезами 59
Таблица П2.2.6 60
Обработка фрезами цилиндрическими, дисковыми, прорезными 60
и фасонными 60
Таблица 2.2.7 60
Сила резания P, Н, приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжки 60
ЛИТЕРАТУРА 61
3.РАБОТА. ВЫБОР ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА 61
3.1. Общие сведения. 61
3.2.Схемы обработки при шлифовании. 62
3.2.Элементы режима резания при шлифовании. 67
3.3.Определение основного времени при шлифовальных работах. 68
3.4.Абразивные материалы. 70
3.5.Выполнение работы. 71
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.1 74
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2 93
ЛИТЕРАТУРА 94

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ
(часть 1)

Пособие по выполнению самостоятельных работ
по дисциплине

«ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
для студентов очного и заочного обучения направления
150400 –«Технологические машины и оборудование»

25 листов

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

Конспект лекций по дисциплине "Технология конструкционных материалов"

Разделы: «Производство чугуна и стали», «Литье», «Обработка металлов резанием»

для специальности 15.03.01 - "Машиностроение"

Автор: Симисинов Д.И., к.т.н., доц., Глинникова Т.П., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

1.1. Общие понятия и определения

Обработка резанием – технологический процесс изготовления деталей, заключающийся в образовании новых поверхностей путём отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки.

Примеры схем обработки различных поверхностей (рис. 1.1).

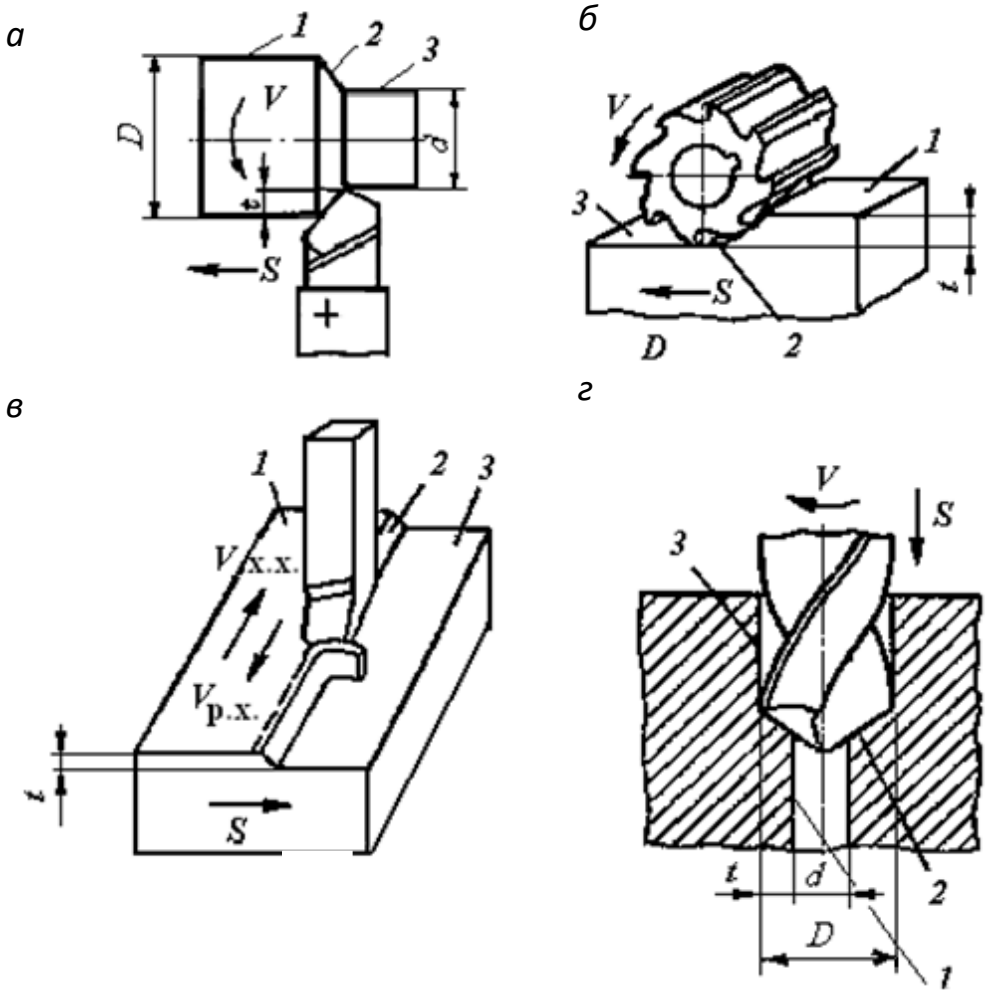


Рис. 1.1 Схемы обработки заготовок:
а – точением; *б* – фрезерованием; *в* – строганием; *г* – сверлением (рассверливанием);
1 – обрабатываемая поверхность; *2* – поверхность резания;
3 – обработанная поверхность

Для осуществления процесса резания необходимо относительное движение между заготовкой и режущим инструментом. Совокупность относительных движений инструмента и заготовки, необходи-

мых для получения заданной поверхности, **называют кинематической схемой обработки.** *Движения резания* – это движения, обеспечивающие снятие слоя металла со всей обрабатываемой поверхности.

Движение, происходящее с наибольшей скоростью и определяющее скорость снятия стружки (прямолинейное или вращательное движение инструмента или заготовки), называют *главным движением резания* – $\boldsymbol{D_v}$. Скорость главного движения обозначают буквой ***V*.**

Движение (прямолинейное поступательное или вращательное) инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, обеспечивающее непрерывность снятия стружки со всей обрабатываемой поверхности, называют *движением подачи* – $\boldsymbol{D_s}$. Скорость движения подачи обозначают буквой ***S*.**

На обрабатываемой заготовке различают *три поверхности:* обработанную (3), полученную на заготовке в результате обработки; обрабатываемую (*1*), подлежащую обработке, и поверхность резания (*2*), образуемую режущей кромкой инструмента (рис.1, *а – г*).

1.2. Элементы режима резания

Процесс обработки задаётся режимом резания. Элементами режима резания являются **скорость резания, подача и глубина резания**. Совокупность этих значений принято называть **режимом резания**. ***Режим резания выбирается в следующей последовательности:***

- глубина резания – *t*;
- подача – *S*;
- скорость резания – *V*.

Глубина резания – определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное по нормали. Глубина резания измеряется в мм (см. рис.1.1).
$t = (D - d)/2$ (*а* и *г* – при точении и рассверливании); $t = d/2$ (при сверлении); $t = H - h$ (*б* и *в)* при фрезеровании и строгании).

Глубина резания зависит от следующих факторов:

– величины припуска *а* (слой металла, подлежащий удалению в процессе обработки);

– вида обработки (черновая или чистовая);

– мощности станка.

Глубина резания может быть равна припуску $t = a$, или $t = a / i$, если припуск снимается за несколько проходов (i – количество ходов, за которое снимется весь припуск при данной глубине резания).

Подача (S) – это перемещение заготовки или инструмента в направлении движения подачи за цикл движения резания.

При точении и сверлении подача задается в миллиметрах (мм) за 1 оборот (мм/об), при фрезеровании подача может быть задана в миллиметрах на зуб (мм/зуб), в миллиметрах в минуту (мм/мин), при строгании – в миллиметрах за двойной ход стола (мм/дв. х.).

Величина подачи зависит от требований к обработанной поверхности: шероховатости и точности поверхности – чем выше точность и чистота обработки, тем меньше величина подачи.

Скорость резания (V) – перемещение точки режущей кромки инструмента относительно заготовки за единицу времени. Скорость резания измеряют в метрах в минуту (м/мин.) ***при всех видах обработки резанием***, кроме шлифования и полирования (метры в секунду (м/с)).

Если главное движение резания является вращательным, то скорость резания определяется по формуле

$$V = \pi D n /1000,$$

где D – диаметр заготовки или инструмента, мм; n – частота вращения заготовки или инструмента, об/мин.

При возвратно-поступательном движении скорость резания определяется по формуле

$$V = 2L n (k + 1) /1000,$$

где L – длина хода инструмента или детали при обработке данной поверхности, мм; n – число двойных ходов в минуту ($n = 500 \cdot V / L (k + 1)$); k – коэффициент отношения скорости рабочего хода к скорости холостого хода ($k = V_{р.х.} / V_{х.х.}$).

По выбранным элементам режима резания определяется ***основное технологическое время,*** $T_о$, затрачиваемое непосредственно на обработку резанием данной поверхности (изменение формы и размеров заготовки).

Основное время определяется по формуле (рис. 1.2):

$$T_о = L \cdot i / S \cdot n,$$

где $L = l + l_1 + l_2$; l – длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 – величина врезания инструмента, мм; l_2 – величина перебега инструмента, мм.

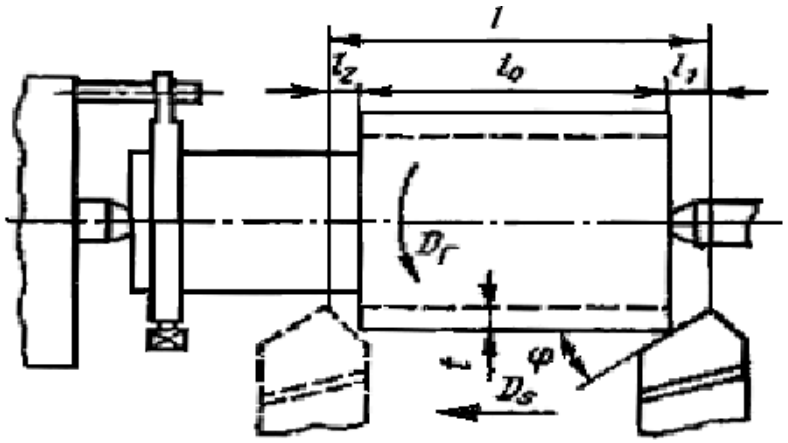


Рис. 1.2. Схема к расчёту T_o при обработке цилиндрической поверхности

1.3. Геометрические параметры режущего клина

Геометрические параметры клина режущего инструмента рассмотрим на примере токарного проходного резца (рис. 1.3). Резец состоит из двух частей: режущей *A* и крепежной *B*. Крепежная часть служит для закрепления резца в приспособлении. Режущая часть осуществляет резание и состоит из следующих элементов: *1* – передняя поверхность (по ней сходит стружка); *2* – главная задняя поверхность (обращена к поверхности резания заготовки); *3* – вспомогательная задняя поверхность (обращена к обработанной поверхности заготовки); *4* – главная режущая кромка; *5* – вспомогательная режущая кромка; *6* – вершина резца.

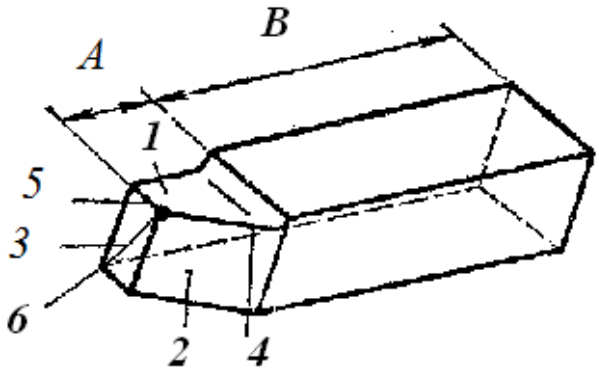


Рис. 1.3. Элементы токарного резца

Углы резца рассматриваются в сечении и в плане. Для определения углов в сечении через режущую кромку перпендикулярно главной режущей кромке проводят секущую плоскость. В сечении получаем режущий клин (рис. 1.4).

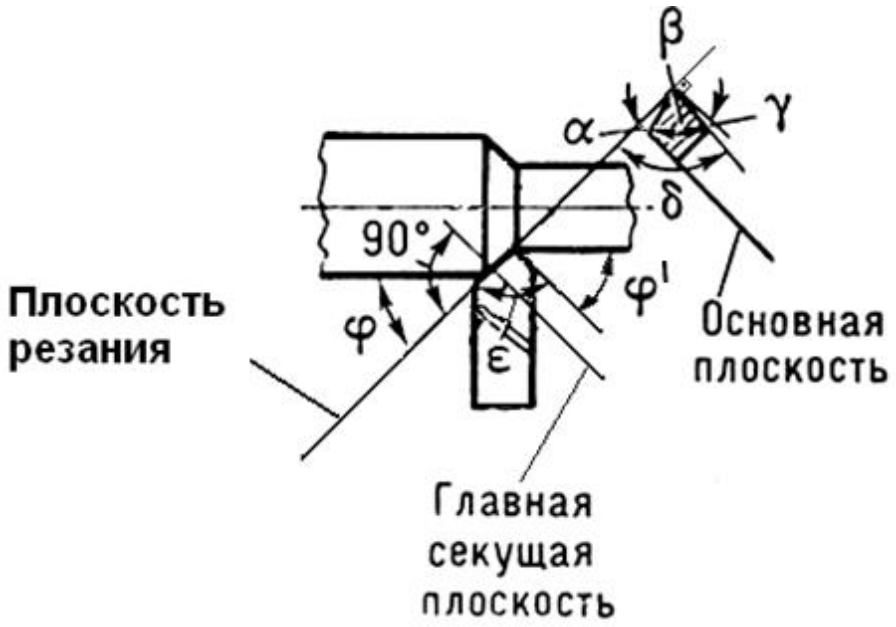


Рис. 1.4. Основные углы резца

Углы резца в сечении:

γ – главный передний угол; α – главный задний угол резца; β – угол заострения резца; δ – угол резания.

Углы в плане:

φ – главный угол в плане – между главной режущей кромкой и направлением движения подачи; φ' – вспомогательный угол в плане – между вспомогательной режущей кромкой и направлением движения подачи; ε – угол при вершине резца.

Передний угол γ оказывает большое влияние на процесс резания. С увеличением переднего угла уменьшается работа, затрачиваемая на процесс резания, улучшаются условия схода стружки и повышается качество обработанной поверхности. Вместе с тем, увеличение переднего угла приводит к снижению прочности режущего лезвия. Поэтому при обработке закаленных сталей, а также при прерывистом резании для увеличения прочности лезвия назначают отрицательные углы γ. В зависимости от механических свойств обрабатываемого и инструментального материала углы γ назначают от –10° до +20° (для обработки обычных конструкционных сталей γ = 0÷10°).

Задний угол α служит для уменьшения трения между задней поверхностью лезвия и поверхностью резания заготовки. При обработке вязких материалов применяют резцы с большими углами α. При обработке твердых и хрупких материалов, а также при большом сечении срезаемого слоя выбирают меньшие углы. Для различных условий угол α назначают в пределах 6÷12°.

Главный угол в плане φ существенно влияет на стойкость режущего инструмента и на шероховатость обработанной поверхности (рис. 1.5). С уменьшением угла φ уменьшается шероховатость обработанной поверхности.

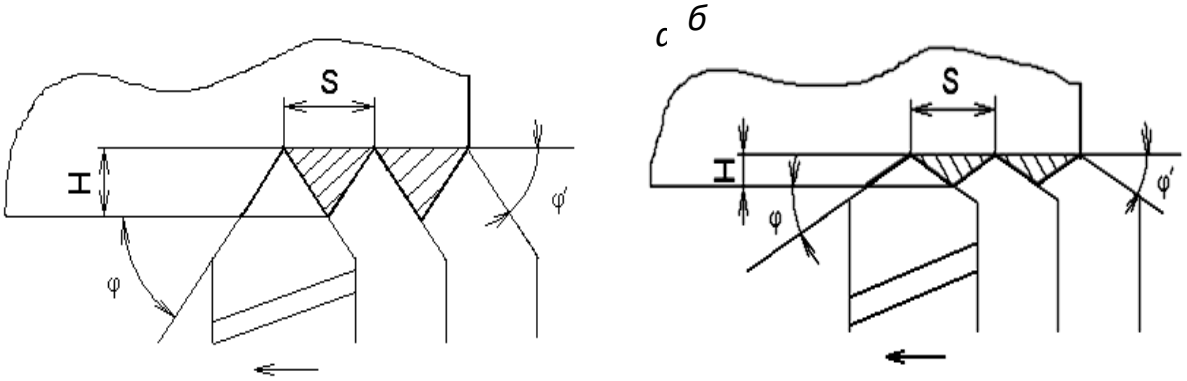


Рис. 1.5. Влияние углов φ и φ' на шероховатость обработанной поверхности:
а – больших; *б* – малых

Одновременно с уменьшением φ увеличивается длина активной части режущей кромки и уменьшается толщина срезаемого слоя, что приводит к снижению тепловой и силовой нагрузки на единицу длины режущей кромки, следовательно, к уменьшению износа инструмента. Однако при малых углах φ резко возрастает составляющая силы резания, перпендикулярная оси заготовки, что приводит к ее прогибу. Угол φ назначают в зависимости от вида обработки и типа резца в пределах 30÷90°. При обработке заготовок малой жёсткости угол φ берут близким или равным 90°.

Вспомогательный угол в плане φ' служит для уменьшения трения вспомогательной задней поверхности об обработанную поверхность. С уменьшением угла φ' уменьшается шероховатость обработанной поверхности, увеличивается прочность вершины лезвия для проходных резцов, обрабатывающих жесткие заготовки, φ' = 5÷10°; при обработке заготовок малой жесткости φ' = 30÷45°.

Угол наклона главной режущей кромки λ определяет направление схода стружки: при λ = 0 стружка сходит в направлении главной секущей плоскости перпендикулярно главной режущей кромки (рис. 1.6, *в*). При положительном λ стружка сходит к обработанной поверхности, при отрицательном λ стружка сходит к обрабатываемой поверхности. Положительный угол λ служит также для упрочнения режущей кромки, так как в момент врезания ударная сила приходится не на вершину лезвия, а на более прочное место режущего лезвия.

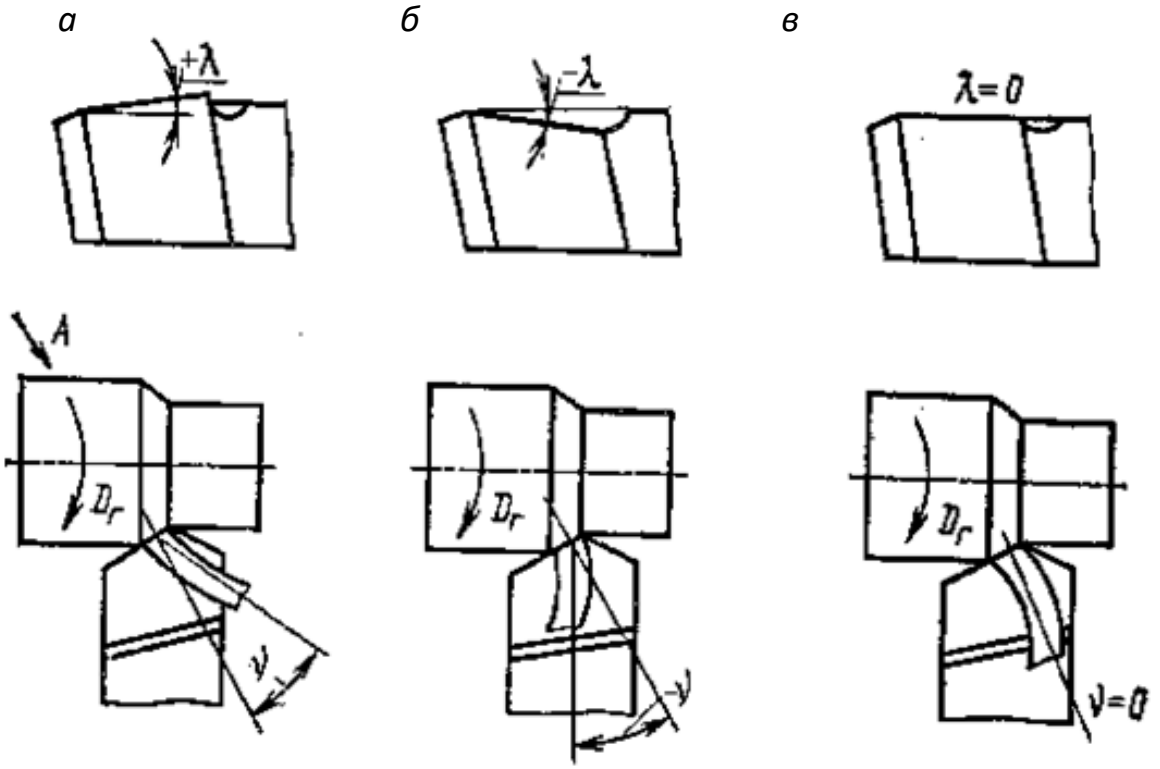


Рис. 1.6. Углы наклона главной режущей кромки:
а – λ > 0; *б* – λ < 0; *в* – λ = 0

1.4. Материалы для изготовления режущих инструментов. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Режущие лезвия инструмента в процессе работы находятся под действием больших давлений, трения и высоких температур, что приводит к изнашиванию режущего инструмента.

Поэтому *инструментальные материалы должны обладать особыми физико-механическими свойствами и отвечать определенным требованиям,* связанным с условиями протекания процесса резания, технологическими особенностями каждого вида обработки, *свойствами и состоянием обрабатываемого материала, а именно:*

- высокими механическими свойствами (прочность на изгиб и твердость);
- высокой износостойкостью, заключающейся в способности инструментальных материалов сопротивляться разрушению при работе;

- высокой теплостойкостью – свойство инструментальных материалов сохранять свою твёрдость, а следовательно, и режущие свойства при нагреве;
- инструментальные материалы должны обладать определенной технологичностью, к которой относят: обрабатываемость резанием, свариваемость, шлифуемость, закаливаемость и т. д.;
- экономичностью, т. е. режущие инструменты не следует целиком изготавливать из дорогих и дефицитных материалов.

Краткая характеристика инструментальных материалов приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Инструментальные материалы

Инструмен-тальный материал	Химический состав	Марка материала	Твердость *HRC*	Теплостой-кость, °С	V_{max}, м /мин	Область применения
1	2	3	4	5	6	7
Инструментальные стали						
Углероди-стые	(0,7–1,3 %)С	У7, У13, У12А	60 – 62	200 – 250	5 – 15	Слесарный инструмент (нож. полотна метчики, плашки и т. д.)
Легированные стали						
Низколеги-рованные	С + Cr + +V+W+ + Si и т. д.	Х, В2Ф, 13Х	62 – 64	250 – 350	15 – 25	То же
Высоколеги-рованные		ХВГ, 9ХС, ХВСГ				Развертки, сверла, протяжки, метчики, плашки и т. д.)
Быстрорежу-щие	8,5 – 19 %W, 3,8 – 4,4 %Cr 2 – 10 % Co,V	Р9, Р12, Р6М5, Р9Ф5, Р18К5Ф2, Р9, Р18, Р6М5, Р9К5, Р18Ф2	62 – 64	До 650	80 – 100	Резцы, фрезы зенкеры (Р9, Р18, Р6М5)
						Для труднообраб. сталей (Р18К5Ф2, Р9К5)
						Для чистовой обраб. (Р9Ф5, Р14Ф4)
						Черновая обработка (Р9М4, Р6М3) Протяжки, долбяки, фрезы, сверла

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Твердые сплавы						
Вольфрамовые (однокарбидные)	WC	ВК2, ВК3, ВК6, ВК8	*HRA* 74 – 86	800 – 900	До 800	Для обработки хрупких материалов, пластмасс, чугуна
Титановольфрамовые (двухкарбидные)	TiC + WC	Т5К10, Т14К8, Т15К6				Пластичные и вязкие материалы
Титанотанталовольфрамовые (трехкарбидные)	TiC + WC,	ТТ7К12, ТТ7К15, ТТ8К6				Для повышенной износостойкости сложного инструмента
Минералокерамика						
Оксидная керамика		ЦМ – 332, ВО – 13	*HRA* 91 – 93	1200	1500	Для чистовых операций (сталь, чугун), для трудно-обрабатываемых сталей
Абразивы						
Электрокорунды	Al_2O_3 + + SiC + CrO	15А, 53С	–	1800 – 2000	15 – 100 м /с	Шлиф. круги, бруски и т. д. Окончательная обработка
Природные алмазы и синтетические сверхтвердые материалы						
Алмазы и кубический нитрид бора	С	А, АСО, АСБ, АСВ, КНБ	–	1150	> 100 м /с	Резцы, сверла – тонкое точение – алюминий, бронза, латунь, пластмасса

1.5. Физические основы резания

1.5.1. Стружкообразование при резании

Резание является сложным физическим процессом, при котором возникают упругие и пластические деформации. Процесс сопровождается трением, тепловыделением, наростообразованием, усадкой стружки, наклепом обработанной поверхности и изнашиванием инструмента. Знание физической сущности резания и закономерности явлений, которыми он сопровождается, позволяет рационально управлять этим процессом и качеством обработанной поверхности.

В начальный момент, когда движущийся резец под действием силы *P* соприкасается с металлом (рис. 1.7, *а*), в материале возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резец своей кромкой вдавливается в металл, вызывая его пластическое деформирование (рис. 1.7, *б*).

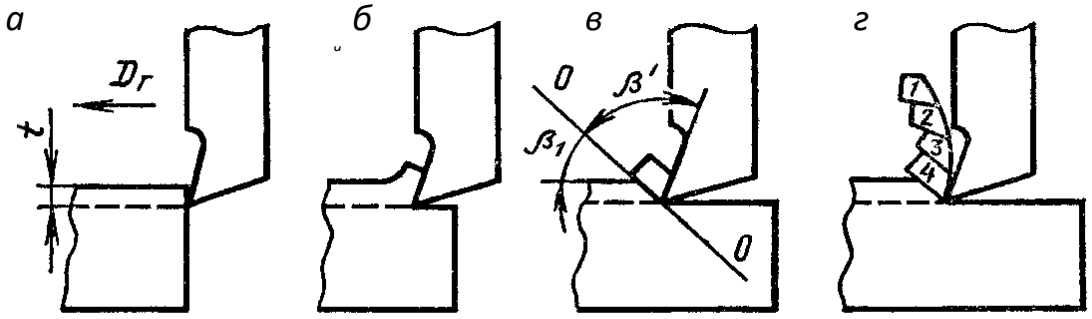


Рис. 1.7. Последовательность образования элементов стружки

По мере перемещения резца объем пластически деформированного металла возрастает, и внутренние напряжения достигают значений, превышающих временное сопротивление металла. В этот момент весь пластически деформированный металл под действием сил сдвигается резцом в виде окончательно сформированного элемента стружки (рис. 1.7, *в*). Далее процесс повторяется.

Срезаемый слой подвергается дополнительному деформированию вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Окончательная структура формируется в виде вытянутых зерен (рис. 1.8).

Характер деформирования зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, режимов резания и условий обработки. По действующей

классификации профессора И. А. Тиме при обработке различных материалов могут образовываться следующие виды стружек: *сливная, скалывания и надлома.* Вид стружки в основном определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, режимом резания и геометрическими параметрами инструмента.

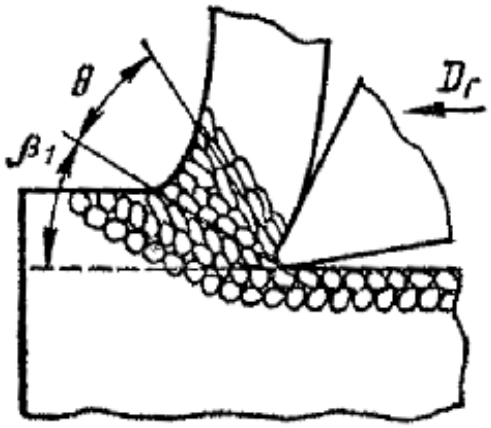


Рис. 1.8. Схема пластически деформированной зоны при резании

Сливная стружка (рис. 1.9, *а*) представляет собой сплошную ленту с гладкой блестящей наружной (прирезцовой) стороной. Внутренняя сторона стружки матовая со слабо выраженными пилообразными зазубринами. Она образуется при резании пластических материалов с большими скоростями резания, с малой толщиной срезаемого слоя и с большими передними углами инструмента.

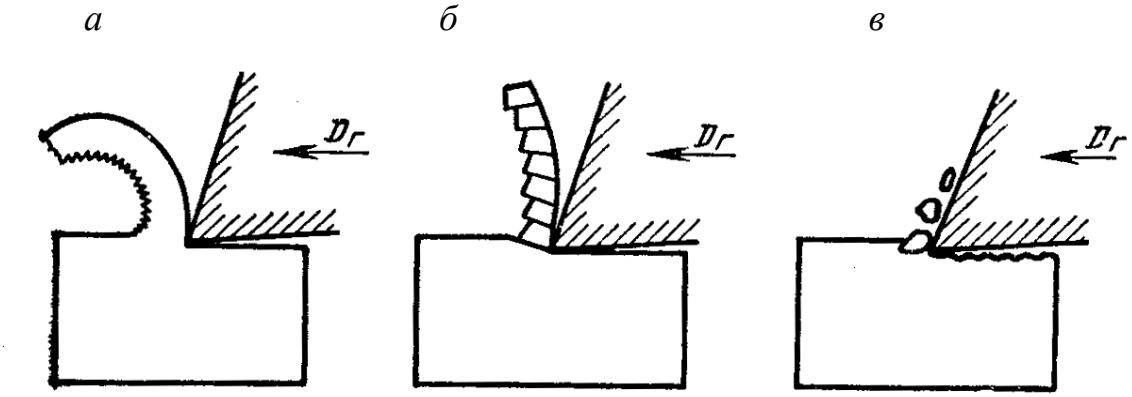


Рис. 1.9. Типы стружек:
а – сливная; *б* – скалывания; *в* – надлома

Стружка скалывания (рис. 1.9, *б*) с наружной стороны гладкая, а на внутренней имеет ярко выраженные зазубрины – отдельные элементы, соединенные между собой в ленту. Такая стружка характерна для обработки материалов средней твердости, при малых скоростях резания, с большой толщиной срезаемого слоя и небольшими передними углами.

Стружка надлома (рис. 1.9, *в*) образуется при обработке хрупких материалов. Под действием силы, приложенной к инструменту, происходит надлом и разрушение материала. Образуются мелкие разнообразных форм и размеров кусочки, не связанные или слабо связанные между собой. Обработанная поверхность при образовании такой стружки получается шероховатой с зазубринами и вырывами.

Изменяя условия и режим резания, можно получить различные виды стружки. По мере увеличения скорости резания большинства углеродистых и легированных конструкционных сталей стружка скалывания превращается в сливную. Повышение скорости резания при обработке хрупких материалов также приводит к упрочнению связей между отдельными элементами. Однако это сцепление легко нарушается и стружка, имеющая вид сливной, рассыпается на отдельные кусочки.

Образующаяся при обработке большинства сталей сливная стружка сходит в виде длинных полос или спирали. Она наматывается на механизмы станка, на инструмент и обрабатываемую заготовку, может травмировать рабочего, повредить обработанную поверхность. Кроме того, такая стружка загромождает цех, так как занимает большой объем. Оптимальной стружкой в массовом производстве считают спираль в виде отрезков длиной 30 – 80 мм, диаметром до 15 мм. Разработан ряд способов дробления стружки: регулирование режимов резания и геометрических параметров режущего инструмента; искусственное дробление с помощью различных приспособлений.

1.5.2. Усадка стружки

В результате пластического деформирования обрабатываемого материала в зоне резания длина стружки L_c (рис. 1.10) получается меньше длины срезаемого слоя L. Изменение размеров срезаемого слоя называется *усадкой стружки:* $k = L / L_c$.

Усадка стружки характеризуется k_l – *коэффициентом усадки стружки*. Коэффициент усадки стружки является обратной величиной усадки:

$$k_l = L_c / L = \frac{1}{k}.$$

В тех случаях, когда длину стружки измерить трудно, k_l определяют по соотношению площадей сечений стружки и срезаемого слоя.

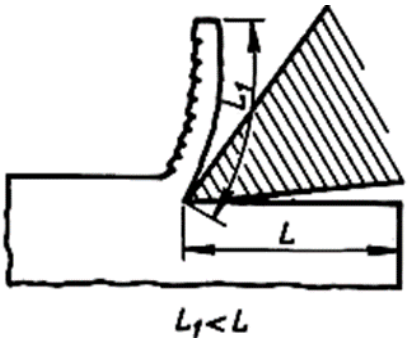


Рис. 1.10. Усадка стружки

Усадка стружки является внешним выражением пластического деформирования и характеризует условия протекания резания: чем меньше усадка стружки, тем меньше пластическая деформация, более благоприятные условия для стружкообразования и меньше расход мощности на обработку данной заготовки.

На усадку стружки основное влияние оказывают механические свойства обрабатываемого материала, передний угол инструмента γ, толщина срезаемого слоя (подача), скорость резания и применяемая смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ).

При резании пластичных материалов усадка стружки больше, чем при резании хрупких материалов. Например, при резании чугуна k =1,5÷2,5, а при резании стали k = 2÷6.

С уменьшением угла γ усадка стружки увеличивается. Чем больше γ, тем меньше деформируется срезаемый слой. Уменьшение усадки с увеличением скорости резания объясняется снижением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью резца. Увеличение толщины срезаемого слоя (подачи) ведет к уменьшению усадки стружки. Чем тоньше срезаемый слой, тем больше его деформация и больше k_l.

Применение СОЖ снижает коэффициент трения, уменьшает коэффициент усадки стружки. Эффект от влияния СОЖ увеличивается с уменьшением срезаемого слоя.

1.5.3. Силы резания при точении

В процессе резания, в результате сопротивления деформированию, возникает сила сопротивления резанию P. Для практических целей обычно рассматривается не сама сила P, а ее составляющие P_x, P_y, P_z (рис. 1.11).

Главная (касательная) составляющая силы резания P_z совпадает по направлению со скоростью резания в вершине лезвия. С учетом силы

P_z рассчитывают на прочность детали и узлы коробки скоростей станка, определяют потребляемую мощность.

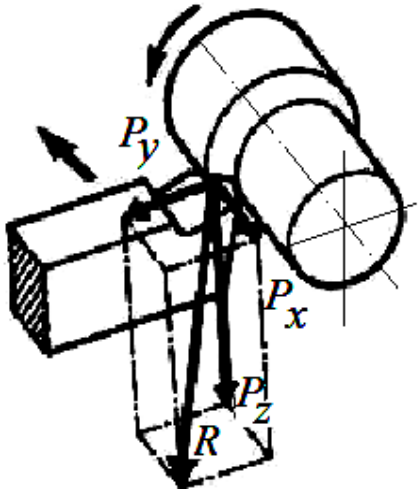


Рис. 1.11. Разложение силы резания на составляющие

Радиальная составляющая силы резания P_y направлена по радиусу (перпендикулярно оси заготовки). Эта составляющая определяет силу отжима резца и прогиб заготовки, влияющие на точность обработки. По силе P_y рассчитывают на прочность механизм поперечной подачи.

Осевая составляющая силы резания P_x действует вдоль оси главного вращательного движения резания. По этой силе рассчитывают механизм продольной подачи станка и изгибающий момент, действующий на тело резца.

Силу P_z называют главной составляющей силы резания и на практике мощность, расходуемая на резание, рассчитывается по силе P_z

$$N_e = P_z \cdot V,$$

где V – скорость резания, м/мин.

С учетом коэффициента полезного действия станка η можно подсчитать необходимую мощность электродвигателя:

$$N_{э.д.} = N_e / \eta,$$

где η = 0,75 – 0,80.

Так как влияние различных факторов на силы резания весьма сложно, для определения сил резания приняты упрощенные эмпирические формулы

$$P_z = C_p t^x S^y V^z k_p,$$

где *x, y, z* – показатели степеней, учитывающие влияние элементов режима резания (*t, S, V*) на величину силы резания; C_p – коэффициенты, учитывающие физико-механические свойства обрабатываемого мате-

риала; $k_р$ – обобщенные поправочные коэффициенты, численно равные произведению коэффициентов, учитывающие условия обработки.

1.5.4. Наклеп при резании

В процессе резания инструмент получает скругление режущей кромки, в стружку переходит часть срезаемого металла, равная $a_ф$ (рис. 1.12). Слой металла, равный ($a_t - a_ф$) и соизмеримый с радиусом режущего клина ρ, упругопластически деформируется и проходит под резцом. После прохождения клина резца относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя на величину $h_у$ – упругое восстановление.

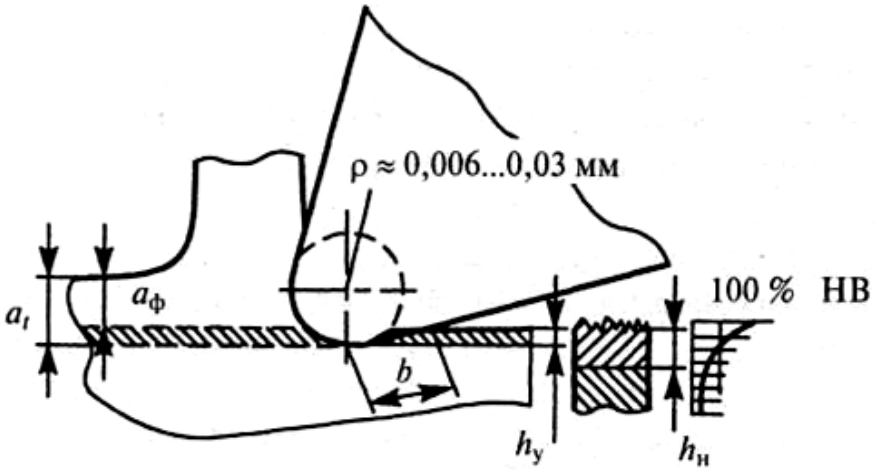


Рис. 1.12. Образование наклепа

В результате сил трения и сил давления, возникающих между задней поверхность резца и обработанной поверхностью, происходит дополнительная упругопластическая деформация поверхностного слоя, сопровождающаяся изменением физических свойств материала (временное сопротивление $σ_в$, предел текучести $σ_т$, твердость *HB*).

Совокупность изменения указанных свойств материала называют **наклепом.** Наклеп характеризуется глубиной $h_н$ и степенью наклепа

$$i_н = HV_{пов} / HV_{исх},$$

где $HV_{пов}$ и $HV_{исх}$ – микротвердость поверхностного и исходного материала.

Глубина и степень наклепа зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, радиуса кривизны вершины лезвия, режима резания.

Глубина $h_н$ составляет несколько миллиметров при черновой обработке и тысячные доли миллиметров – при чистовой.

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый материал, тем больше наклеп. Глубина наклепанного слоя возрастает с увеличением сечения срезаемого слоя, радиуса режущего клина ρ и уменьшением переднего угла γ. Увеличение скорости резания также снижает глубину наклепа $h_н$.

Упрочнение обработанной поверхности полезно при чистовой обработке. Однако повышение твердости поверхностного слоя в результате черновой обработки затрудняет чистовую обработку, так как повышается износ инструмента и увеличивается шероховатость поверхности. Уменьшить глубину и степень наклепа можно применением СОЖ, увеличением скорости резания и термообработкой.

1.5.5. Наростообразование

При некоторых условиях резания под влиянием высоких давлений и температур (> 200 °С) частицы обрабатываемого материала задерживаются на передней поверхности режущего клина, прочно сцепляются с ней, образуя **нарост**. Вследствие значительных деформаций частиц, присоединившихся к передней поверхности клина, твердость нароста в 2 – 3 раза больше твердости обрабатываемого материала и нарост сам начинает резать обрабатываемый материал.

При наличии нароста изменяется форма передней поверхности резца, увеличивается передний угол γ (рис. 1.13). Это облегчает стружкообразование, уменьшает нагрев режущего лезвия, защищает его от износа.

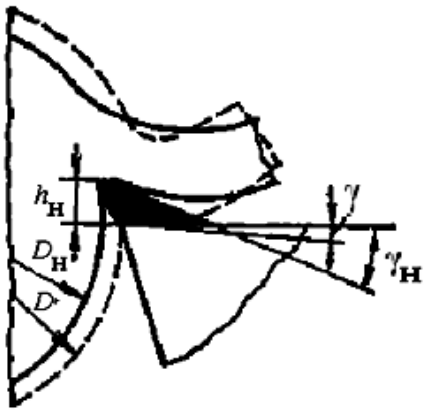


Рис.1.13. Схема наростообразования и влияние нароста на размер детали (γ, $γ_н$ – передние углы соответственно без нароста и с наростом; D и $D_н$ – соответственно диаметры детали)

Образование нароста явление нестабильное. В процессе обработки нарост, постепенно формируясь, достигает максимального значения. Затем за счет сил трения он может быть унесен со стружкой или вдавлен в обработанную поверхность. Нестабильность нароста

приводит к существенному увеличению шероховатости обработанной поверхности и изменяет её размер.

Нарост является положительным явлением при черновой обработке и отрицательным – при чистовой.

Наростообразование зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрических параметров инструмента, применения СОЖ. Наиболее интенсивно нарост образуется при обработке пластичных материалов. Зависимость высоты нароста $h_н$ от скорости резания Vдана на рис. 1.14. С увеличением подачи размеры нароста увеличиваются.

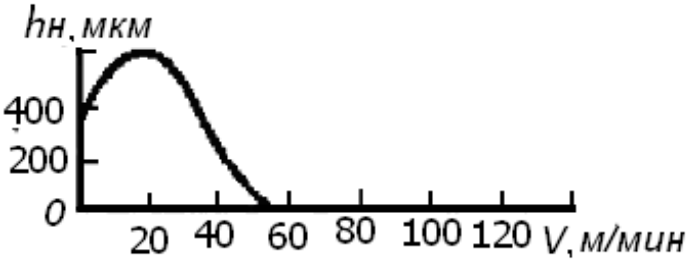


Рис. 1.14. Зависимость величины нароста от скорости резания для стали 40Х

Глубина резания существенного влияния на размеры нароста не оказывает. С уменьшением переднего угла γувеличивается зона деформированного материала и, следовательно, увеличивается нарост. Применение СОЖ уменьшает нарост.

1.5.6. Тепловые явления при резании

Теплота – один из основных факторов, влияющих на резание. Теплообразование оказывает двойное воздействие на процесс резания.

С одной стороны, интенсивное тепловыделение облегчает деформирование материала срезаемого слоя. С другой стороны, тепловое воздействие на режущее лезвие инструмента приводит к снижению твердости.

Кроме того, с повышением температуры инструмента увеличиваются его размеры, что вызывает снижение точности обработки.

Почти вся механическая энергия, затрачиваемая на деформирование, разрушение и трение, переходит в тепловую. Поэтому количество Q выделяющейся теплоты в единицу времени (Дж/с) можно подсчитать по формуле

$$Q = P_z \cdot V,$$

где P_z – сила резания, Н; V – скорость резания, м/мин.

Уравнение теплового баланса можно представить следующим образом:

$$Q_д + Q_{т.п.} + Q_{т.з.} = Q_{стр.} + Q_з + Q_и + Q_{окр},$$

где $Q_д$ – количество теплоты, выделяющееся при пластическом деформировании обрабатываемого материала; $Q_{т.п.}$ – количество теплоты, выделяющееся при трении стружки о переднюю поверхность инструмента; $Q_{т.з}$ – количество теплоты, выделяющееся при трении задней поверхности лезвия о заготовку; $Q_{стр}$ – количество теплоты, уходящей в стружку; $Q_з$ – количество теплоты, уходящей в заготовку; $Q_и$ – количество теплоты, уходящей в инструмент; $Q_{окр.}$ – количество теплоты, передаваемое окружающей среде.

Источниками теплоты при резании являются: пластическое деформирование в зоне стружкообразования $Q_з$, трение стружки о переднюю поверхность инструмента $Q_{т.п.}$ и трение поверхности резания о заднюю поверхность лезвия инструмента $Q_{т.з.}$ (рис. 1.15).

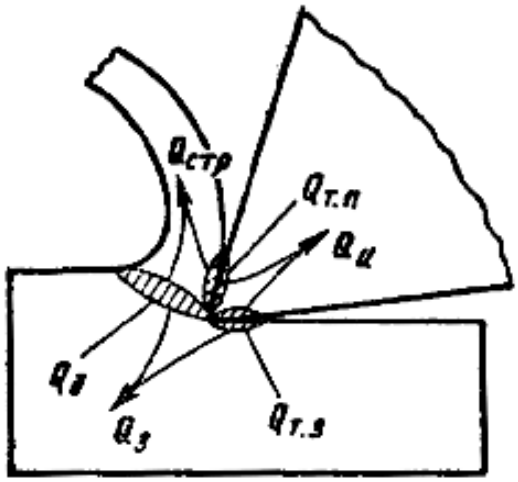


Рис.1.15. Источники образования и распределение теплоты при резании

Количественное выражение составляющих уравнения теплового баланса зависит от вида операции, физико-механических свойств материала заготовки и инструмента, режима резания и геометрических параметров инструмента, условий обработки.

Например, при точении конструкционных материалов наибольшее количество теплоты уходит в стружку, а при сверлении – в обрабатываемую заготовку. При обработке сталей со скоростями резания до 50 м/мин количество теплоты, выделяющееся при пластическом деформировании $Q_д = 0{,}75Q$, при $V = 200$ м/мин – $Q_д = 0{,}25Q$, следовательно, при скоростном резании основным источником теплоты является трение.

С уменьшением переднего угла γ увеличивается сила резания и, следовательно, температура резания. С уменьшением угла в плане φ

удлиняется активная часть режущей кромки, увеличивается угол при вершине **ε** – за счет этого улучшается теплоотвод.

1.5.7. Изнашивание и стойкость инструмента

Одной из основных характеристик работоспособности режущего инструмента является его способность сопротивляться изнашиванию. При изнашивании имеют место абразивный, адгезионный, диффузионный и окислительный процессы (рис. 1.16).

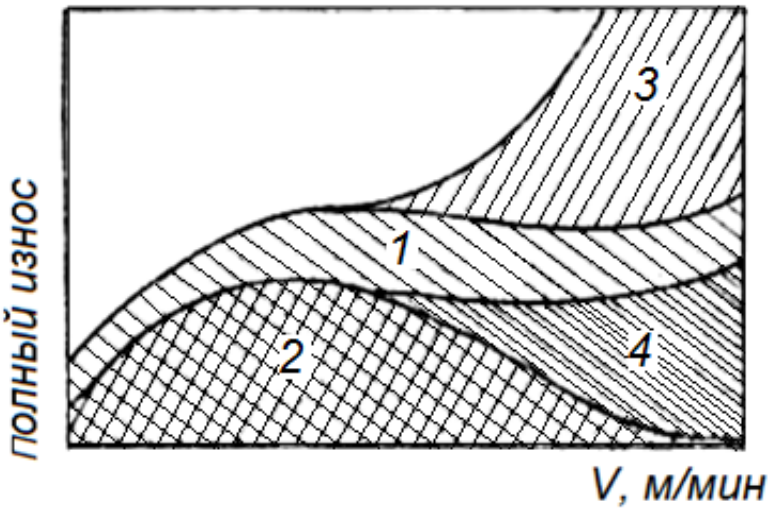


Рис. 1.16.Основные причины износа режущего клина их влияние на износ в зависимости от скорости резания

Абразивное изнашивание (1) – результат царапания и истирания отдельных участков поверхностей инструмента твердыми включениями, находящимися в обрабатываемом материале.

Адгезионное изнашивание (2) происходит в результате действия сил молекулярного сцепления – адгезии, выражающейся в схватывании поверхностных слоев режущего инструмента с обрабатываемым материалом.

Диффузионное изнашивание (3) происходит в результате растворения инструментального материала в обрабатываемом. Взаимному диффузионному растворению способствует высокая температура, большие пластические деформации и схватывание в контакте. При этом происходит диффузия не молекул химического соединения, а отдельных элементов этого соединения, например, углерода, кобальта, титана, вольфрама, входящих в состав инструментального материала. Наиболее подвержены диффузионному изнашиванию твердые сплавы, работающие при высоких скоростях резания, когда температура контактных слоев более 900 – 950 °С.

Окислительное изнашивание (4) происходит в связи с коррозией металлов в условиях активного охлаждения зоны резания и газонасыщения; происходит разрушение поверхностного слоя путем образования оксидов и растравливания зерен в сочетании с царапанием и истиранием.

При обработке резанием в условиях сухого и полусухого трения преобладающим является *абразивное* изнашивание. В результате изнашивания на передней поверхности появляется лунка длиной $l_л$ и глубиной $\delta_л$, а на задней поверхности – площадка высотой $h_з$ (рис. 1.17). В зависимости от условий обработки и свойств обрабатываемого материала может преобладать износ по той или иной поверхности.

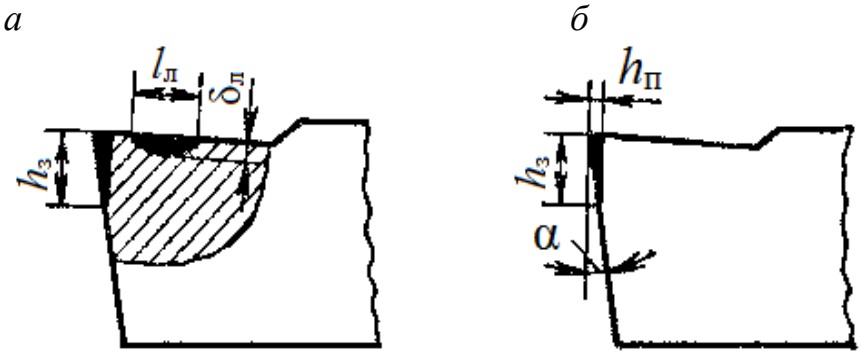


Рис. 1.17. Виды износа инструмента:
а – общий (по задней и передней поверхностям); *б* – по задней поверхности

Износ по задней поверхности преобладает при обработке твердых хрупких материалов, а также и пластичных материалов с малой глубиной резания ($t \leq 0{,}1$) и низких скоростях.

Износ по передней поверхности $h_п$ преобладает при обработке пластичных материалов с глубиной резания более 0,5 мм и высоких скоростях резания без охлаждения. По мере изнашивания резца длина лунки $l_л$ увеличивается, ширина перемычки уменьшается. Для восстановления геометрической формы инструмент затачивается.

Время резания новым или вновь заточенным инструментом от начала резания до отказа (затупления) называется ***периодом стойкости*** инструмента.

Критерий отказа инструмента определяется в зависимости от требований к обработке при выполнении конкретной технологической операции. Например, при предварительной обработке с невысокими требованиями к шероховатости поверхности и точности размеров, за критерий отказа могут быть приняты значения износа инструмента по задней поверхности лезвия (высота площадки износа по

задней поверхности $h_з$). На рис. 1.18 показана зависимость $h_з$ от продолжительности работы инструмента. Кривую изнашивания можно разделить на три периода: ***I*** – период приработки, в который происходит истирание выступающих частиц поверхности инструмента; ***II*** – период нормального изнашивания; ***III*** – период катастрофического изнашивания. Величину $h_з$, соответствующую точке перегиба на кривой износа, называют *оптимальным износом.*

При чистовой обработке установлен так называемый *технологический критерий затупления*. Инструмент считается изношенным, когда шероховатость обработанной поверхности и точность ее размеров перестают отвечать заданным техническим условиям.

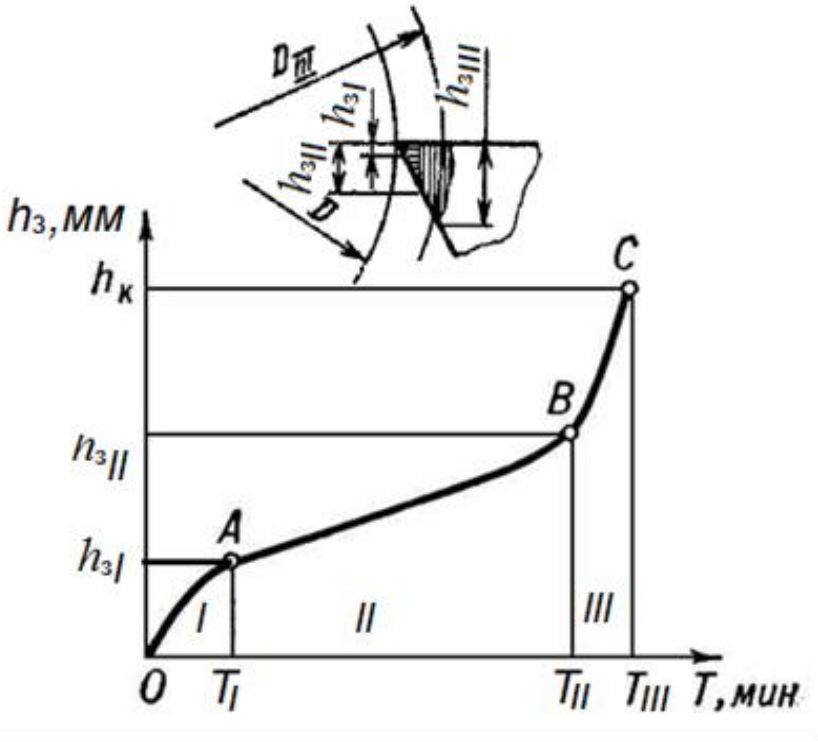


Рис. 1.18. Характер изнашивания задней поверхности режущего инструмента:
OA – период приработки; *AB* – период рабочего изнашивания;
BC – период катастрофического изнашивания

Наибольшее влияние на интенсивность изнашивания оказывает скорость резания. Чем выше скорость резания, тем быстрее начинается катастрофическое изнашивание (см. рис. 1.18), что вызвано возрастанием температуры в зоне резания. Чем выше скорость резания, тем меньше стойкость инструмента из инструментальных сталей.

Стойкость инструмента T – время его работы между переточками при определенном режиме резания (т. е. время до достижения износом критерия затупления).

Стойкость инструмента зависит от материалов инструмента и заготовки, а также параметров режима резания. Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания, при этом для твердосплавного инструмента эта зависимость имеет более сложный характер (рис. 1.19), что объясняется преобладанием разных видов износа на разных скоростях резания. Зоной рационального использования твердого сплава является участок, расположенный вправо от максимальной стойкости.

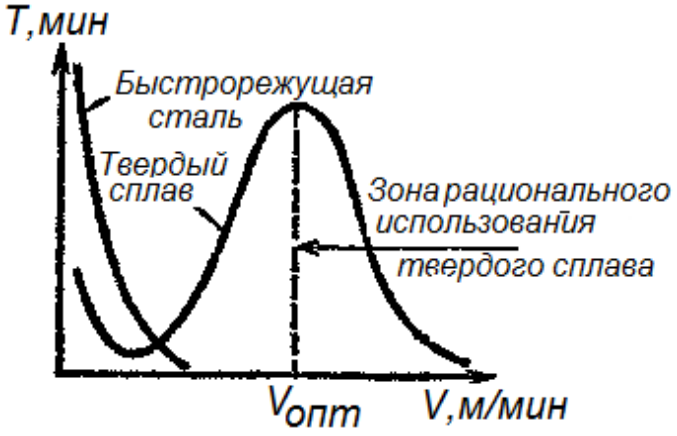


Рис. 1.19. Зависимость стойкости резца от скорости резания *V*

1.5.8. Охлаждение и смазывание при резании

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) при обработке резанием значительно уменьшают изнашивание режущего инструмента и силы резания, улучшают качество обработанной поверхности, повышают эксплуатационные характеристики деталей.

Применение СОТС является одним из основных способов улучшения резания труднообрабатываемых материалов. СОТС всех видов должны отвечать следующим требованиям: не вызывать коррозию материала заготовки и оборудования; не оказывать вредного физиологического влияния на рабочего (раздражение кожи и слизистых оболочек, запах); быть устойчивыми при эксплуатации и хранении; не воспламеняться при температурах, сопровождающих процесс резания.

В зависимости от технологического метода обработки, физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, режима резания **применяют различные смазочно-охлаждающие средства:** ***твердые, жидкие, пластичные и газообразные.***

К твердым смазочно-охлаждающим средствам относятся: неорганические материалы со сложной структурой (тальк слюда, графит, бура, нитрид бора, дисульфиды молибдена вольфрама и титана, сульфат серебра и др.); *твердые органические соединения* (мыло,

воск, твердые жиры); *полимерные пленки и ткани* (нейлон, полиамид, полиэтилен и др.); *металлические пленочные покрытия* (медь, латунь, свинец, олово, барий, цинк); *лед и перешедшие при низких температурах в твердое состояние жидкости и газы.*

К смазочно-охлаждающим жидкостям (СОЖ) относятся: водные растворы минеральных электролитов, эмульсии; минеральные, животные и растительные масла; минеральные масла с добавками фосфора, серы и хлора (сульфофрезолы); керосин и растворы поверхностно-активных веществ в керосине; масла и эмульсии с добавками твердых смазывающих веществ; расплавы металла и др.

К пластичным смазочным веществам **относятся:** густые мазеобразные продукты, занимающие по консистенции промежуточное положение между твердыми и жидкими смазочными веществами. Их получают загущением минеральных и синтетических масел. Применяют в основном четыре вида загустителей: мыльные, углеводородные, неорганические и органические.

К газообразным смазочным веществам **относятся:** воздух, азот, двуокись углерода, кислород, пары поверхностно-активных веществ, распыленные жидкости.

Выбор СОТС определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого и инструментального материалов и технологического метода обработки. Для каждого конкретного случая подбирают определенное, наиболее эффективное, СОТС.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определение элементам режима резания.
2. Назовите основные элементы лезвия токарного резца и дайте им определение.
3. Дайте определение углам γ, α, β, δ, φ, φ', λ и укажите назначение каждого из них.
4. Как изменяются углы резца в зависимости от положения его вершины относительно оси вращения обрабатываемой заготовки?
5. Перечислите требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
6. Перечислите основные группы материалов, применяемых для изготовления режущего инструмента.
7. Сравните теплостойкость быстрорежущих сталей и твердых сплавов.
8. При каких режимах резания целесообразно использовать режущий инструмент из керамического материала?

9. Назовите область применения инструментов из сверхтвердых материалов.
10. Назовите основные виды стружки.
11. Какие силы действуют на лезвие инструмента со стороны обрабатываемого материала?
12. Что называют наклепом обработанной поверхности?
13. Какое влияние оказывает нарост на процесс резания и качество обработанной поверхности?
14. Перечислите источники теплоты при резании.
15. Какое влияние оказывает теплообразование на процесс резания?
16. Какие процессы изнашивания инструмента имеют место при резании?
17. Какие факторы влияют на стойкость инструмента?
18. Каково назначение СОТС?

2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

В основу классификации металлорежущих станков (М. с.) положен технологический принцип.

В зависимости от характера выполняемых работ и применяемого режущего инструмента ***в нашей стране была принята единая система классификации и условного обозначения М. с.*** (табл. 2.1), разработанная в ЭНИМС.

Все М. с. делятся на группы, которые, в свою очередь, разбиваются на типы.

По этой классификации каждому М. с. серийного производства присваивается шифр (индекс), который образуется, как правило, числом из 3 или 4 цифр; *первая цифра* указывает группу, *вторая* – тип, третья и *четвёртая* характеризуют основные размеры рабочего пространства М. с. или обрабатываемого на нём изделия.

Например, шифр 2150 обозначает вертикально-сверлильный станок с максимальным диаметром сверления 50 мм.

После модернизации М. с. в его шифр за первой цифрой добавляется какая-либо буква.

Например, шифр 1К62 обозначает модернизированный токарно-винторезный станок с высотой центров 200 мм. *Модификация* (видоизменение) *базовой модели обозначается введением какой-либо буквы в конце шифра.* Например, 6Н12К обозначает модификацию модернизированного консольного вертикально-фрезерного станка (см. табл. 2.1). Буква, стоящая в конце шифра, может означать точность станка.

По точности различают 5 классов М. с.: Н – нормальной точности (например, большинство универсальных М. с.), П – повышенной точности (на базе Н), В – высокой точности, А – особо высокой точности (прецизионные), С – особо точные, или мастер-станки.

По универсальности и специализации станки делятся *на универсальные, специализированные и специальные.*

Универсальные станки предназначены для изготовления широкой номенклатуры деталей малыми партиями, их используют в единичном и мелкосерийном производствах.

Специализированные станки используют для изготовления больших партий деталей одного типа (зубчатые колеса, коленчатые валы, кольца подшипников и т. п.)

Специальные станки применяют для обработки одной или нескольких мало различающихся заготовок в условиях крупносерийного и массового производства. Эти станки обеспечивают наивысшую производительность и имеют высокий уровень автоматизации.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Поясните принципы классификации и обозначения станков.
2. Какие движения в станках называют формообразующими?
3. Какое движение называют главным движением резания?
4. В чем преимущество геометрического ряда частот вращения?
5. Каким образом увеличить крутящий момент на шпинделе?

К Л А С С И Ф И К А Ц И Я

<table>
<tr><td rowspan="2">Группа</td><td rowspan="2">Наименование группы станков</td><td colspan="4">Т и п ы</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">Токарные</td><td colspan="2">Автоматы и полуавтоматы</td><td rowspan="2">Револьверные</td><td rowspan="2">Токарно-револьверные полуавтоматы</td></tr>
<tr><td>одношпиндельные</td><td>многошпиндельные</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">Сверлильные и расточные</td><td rowspan="2">Вертикально-сверлильные</td><td colspan="2">Полуавтоматы</td><td rowspan="2">Координатно-расточные</td></tr>
<tr><td>одношпиндельные</td><td>многошпиндельные</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Шлифовальные и доводочные</td><td>Круглошлифовальные</td><td>Внутришлифовальные</td><td>Обдирочно-шлифовальные</td><td>Специализированные шлифовальные</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Электрофизические и электрохимические</td><td>–</td><td>Светолучевые</td><td>–</td><td>Электрохимические</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Зубо- и резьбообрабатывающие</td><td>Зубострогальные для цилиндрических колёс</td><td>Зуборезные для конических колёс</td><td>Для цилиндрических колёс и шлицевых валов</td><td>Для червячных колёс</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Фрезерные</td><td>Вертикально-фрезерные консольные</td><td>Фрезерные непрерывного действия</td><td>–</td><td>Копировальные и гравировальные</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">Строгальные, долбёжные и протяжные</td><td colspan="2">Продольные</td><td rowspan="2">Поперечно-строгальные</td><td rowspan="2">Долбёжные</td></tr>
<tr><td>одностоечные</td><td>двухстоечные</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">Разрезные</td><td colspan="3">Отрезные работающие</td><td rowspan="2">правильно-отрезные</td></tr>
<tr><td>токарным резцом</td><td>абразивным кругом</td><td>гладким или насеченным диском</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Разные</td><td>Муфто- и трубообрабатывающие</td><td>Пилонасекательные</td><td>Правильно- и бесцентрово-обдирочные</td><td></td></tr>
</table>

Таблица 2.1

С Т А Н К О В

с т а н к о в					Группа
7	8	9	10	11	12
Карусельные	Токарно-винторезные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные для фасонных изделий	Разные токарные	1
Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные	2
Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировальные	Разные станки, работающие абразивом	3
–	–	электроэрозионные, ультразвуковые, прошивочные	–	–	4
Для обработки торцов зубьев колёс	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие	5
Вертикальные бесконсольные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные	6
Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания		–	Разные строгальные	7
	внутреннего	наружного			
Ленточнопильные	Пилы отрезные		–	–	8
	дисковые	ножовочные			
Для испытания инструмента	Делительные машины	Балансировочные	–	–	9

3. ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

3.1. Типы токарных резцов и их назначение

Большое количество различных видов работ, выполняемых на токарных станках, обуславливает многообразие конструкций резцов.

По назначению токарные резцы разделяются на проходные, расточные, подрезные, отрезные, фасонные, резьбовые и канавочные.

Различают следующие виды точения:

- *Обтачивание* – обработка наружных поверхностей (рис. 3.1 – 3.4);

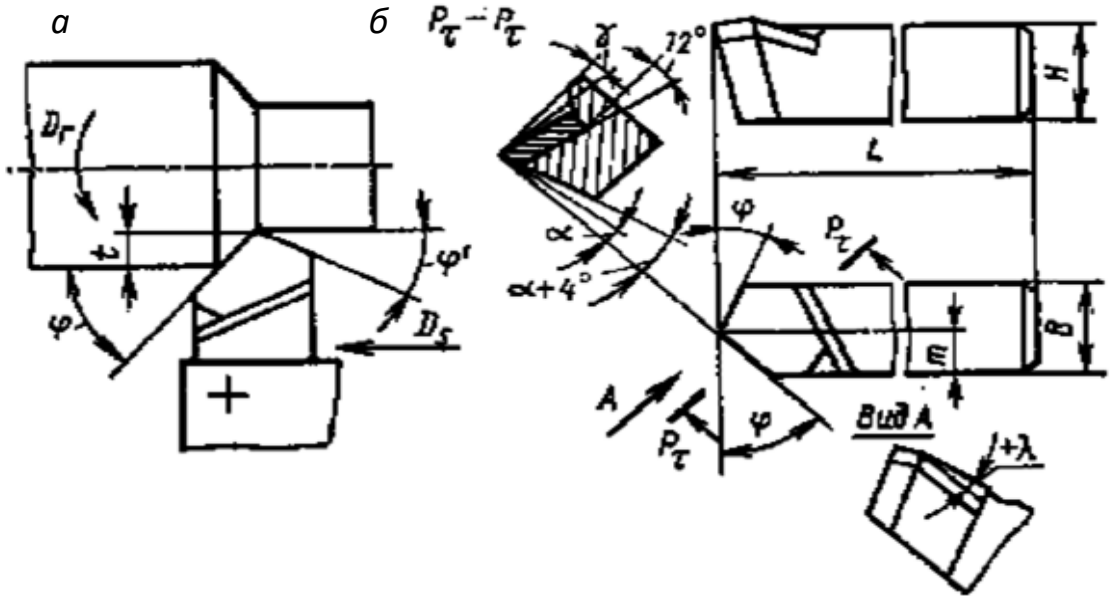


Рис. 3.1. Наружное точение прямым проходным резцом:
а – схема точения; *б* – прямой проходной резец, его геометрические параметры

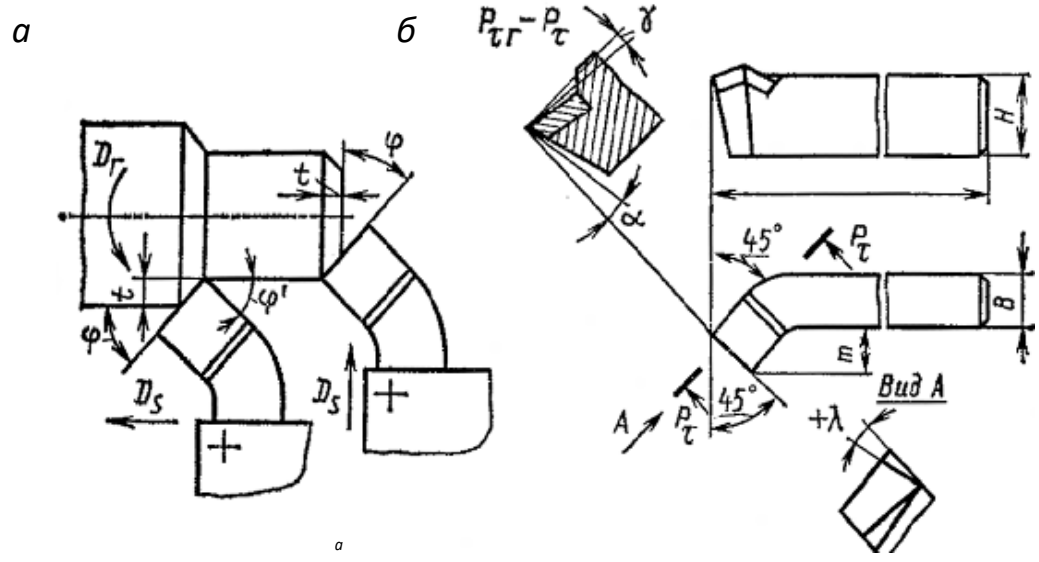


Рис. 3.2. Наружное точение проходным отогнутым резцом:
а – схема точения; *б* – проходной отогнутый резец, его геометрические параметры

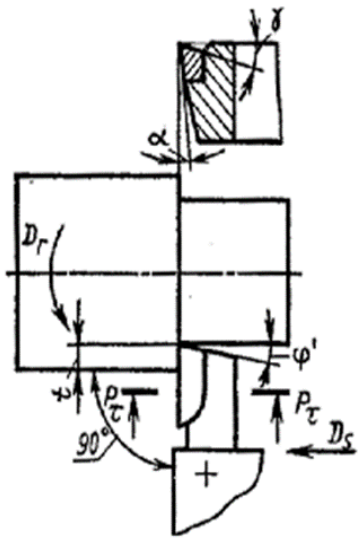


Рис. 3.3. Схема точения проходным упорным резцом

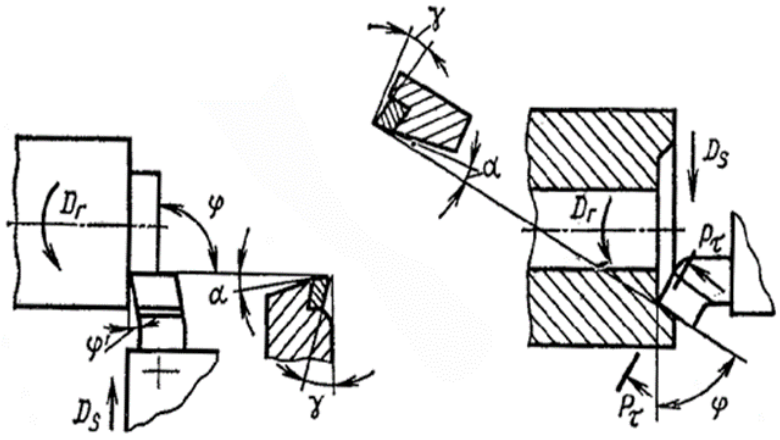


Рис. 3.4. Подрезные резцы

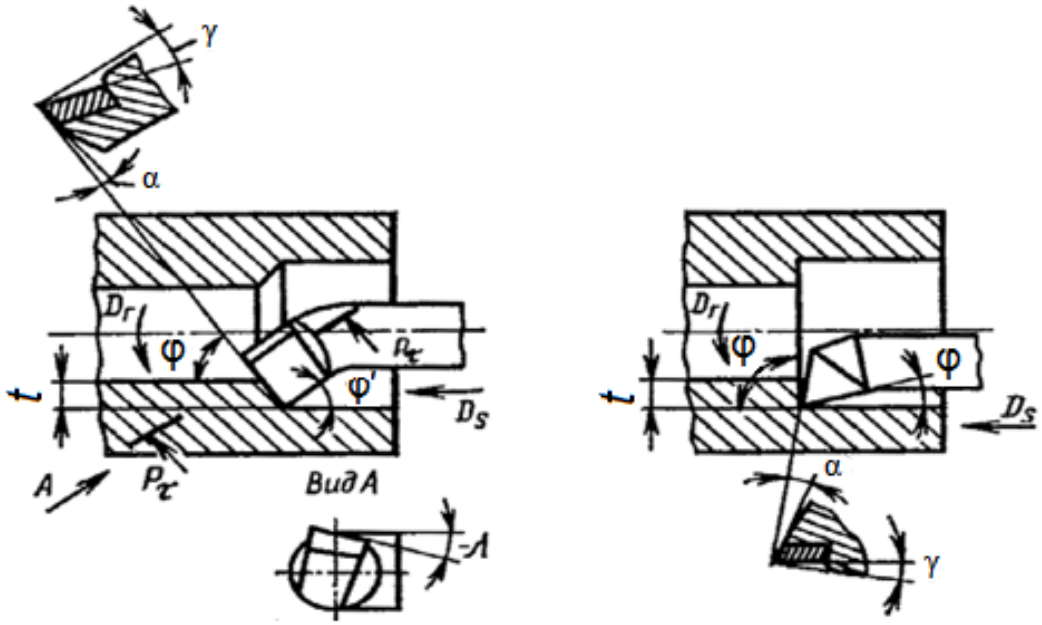


Рис. 3.5. Расточные токарные резцы:
а – проходной резец; *б* – упорный резец

Растачивание – обработка внутренних поверхностей (рис. 3.5);

- *Подрезание* – обработка плоских торцевых поверхностей (рис. 3.4);
- *Отрезка* – разделение заготовки на части, отделение готовой детали от заготовки (рис. 3.6);
- *Точение фасонных поверхностей* (рис. 3.7);
- *Нарезание наружных и внутренних резьб* (рис. 3.8).

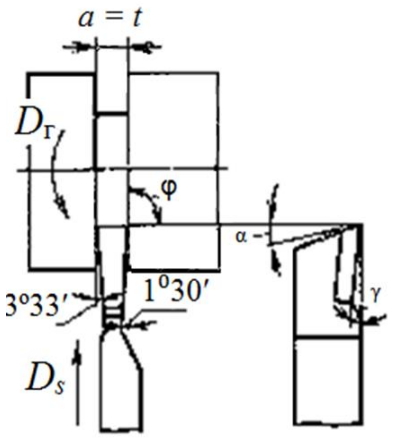


Рис. 3.6. Отрезной резец

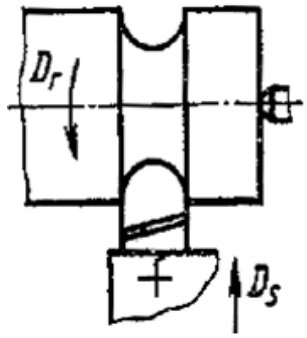


Рис. 3.7. Фасонный резец

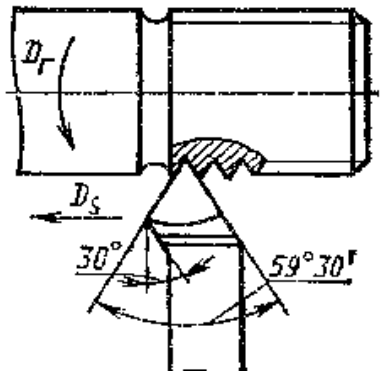


Рис. 3.8. Резьбовой резец

3.2. Станки токарной группы

На станках токарной группы выполняются различные операции по обработке поверхностей тел вращения. В состав этой группы входят токарные полуавтоматы и автоматы, токарноревольверные, токарно-карусельные, токарно-винторезные многорезцовые и специализированные токарные станки.

Токарно-карусельные станки применяются для обработки тяжёлых заготовок больших размеров, у которых соотношение высоты к диаметру составляет 0,3÷0,5. Особенностью таких станков является наличие кругового горизонтального стола с вертикальной осью вращения. Карусельные станки бывают одно- и двухстоечные. Диаметр карусели колеблется в пределах 0,5÷21 м.

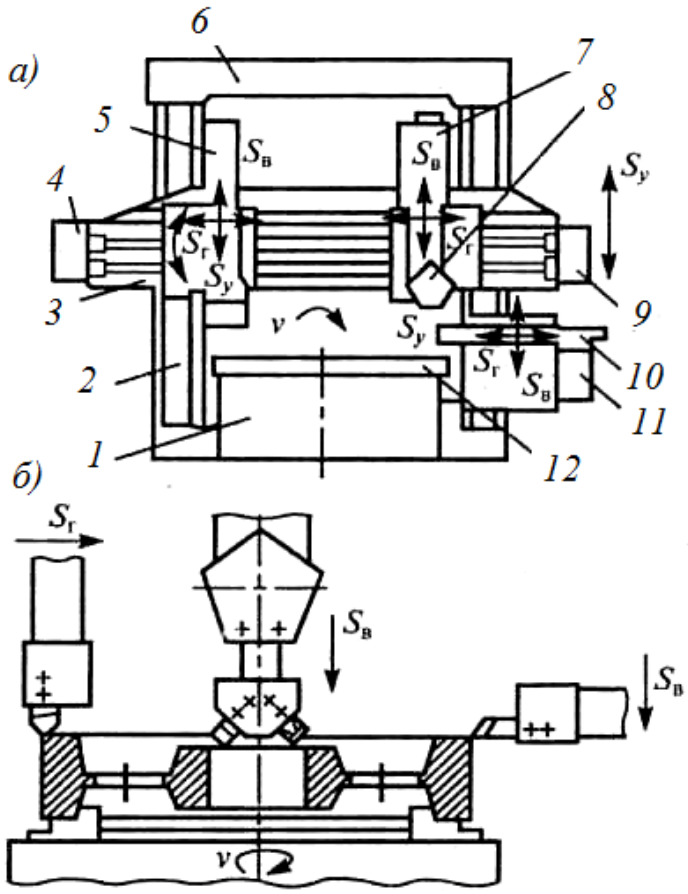


Рис. 3.9. Токарно-карусельный станок (*а*) и схема обработки заготовки (*б*):
1 – станина; *2* – стойки; *3* – подвижная траверса; *4* – коробка подач на траверсе; *5* – верхний суппорт; *6* – поперечина; *7* – револьверный суппорт; *8* – револьверная головка; *9* – коробкой подач на траверсе; *10* – боковой суппорт; *11* – коробка подач на правой стойке; *12* – карусель

На рис. 3.9 показан двухстоечный карусельный станок, состоящий из карусели *12*, смонтированной на станине *1*, и стоек *2*, соединенных поперечиной *6*. По вертикальным направляющим стоек перемещается подвижная траверса *3*. На подвижной траверсе установлены верхний суппорт *5* с коробкой подач *4* и револьверный суппорт *7* с револьверной головкой *8* и коробкой подач *9*. На правой стойке установлен боковой суппорт *10* с коробкой подач *11*.

Токарно-винторезные станки из-за своих широких технологических возможностей получили наибольшее распространение. Узлы станка и его технологические возможности изучаются на лабораторных и практических занятиях.

Токарно-револьверные станки (рис. 3.10) используются для обработки сложных деталей, требующих применения большого числа режущих инструментов. У этих станков на направляющих станины вместо задней бабки установлен револьверный суппорт *4*, перемещающийся в продольном направлении. На суппорте размещена револь-

верная головка *3*, в радиальных или осевых отверстиях которой закрепляются инструменты (резцы, блоки резцов, осевые инструменты и т. п.).

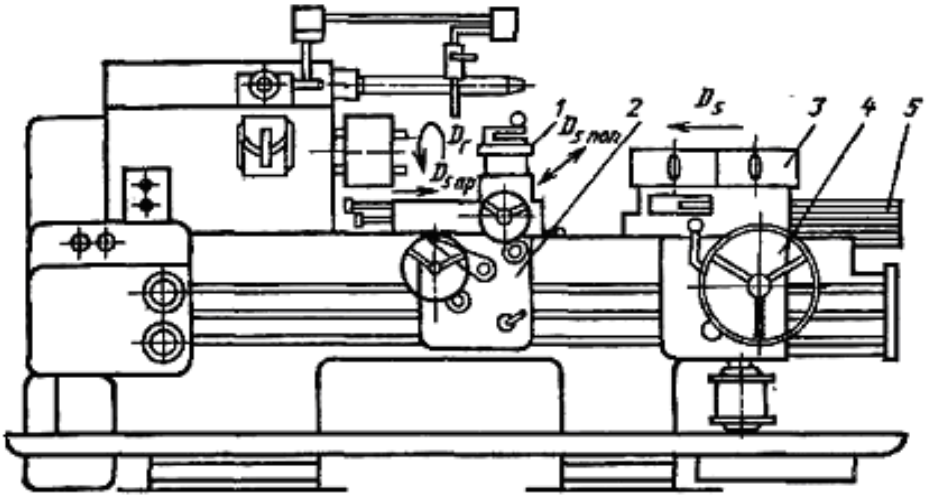


Рис. 3.10. Токарно-револьверный станок с вертикальной осью револьверной головки:
1 – резцедержатель; *2* – суппорт; *3* – револьверная головка; *4* – револьверный суппорт; *5* – барабан упоров

Станки с вертикальной осью вращения револьверной головки имеют суппорт *2*, несущий резцедержатель *1*. Суппорт *2* совершает продольное $D_{S\text{поп}}$ и поперечное $D_{S\text{пр}}$ движения подачи. Особенностью токарно-револьверных станков является использование в их конструкции барабана упоров *5*, вращающегося синхронно с револьверной головкой. Длина упоров определяет длину обрабатываемой поверхности для каждой обрабатываемой поверхности. Наибольшее распространение этим станки получили в серийном производстве. Основные схемы обработки представлены на рис. 3.11.

Многорезцовые токарные полуавтоматы (рис. 3.12) применяются при обработке заготовок типа ступенчатых валов. Станки имеют два суппорта: верхний и нижний. Нижний суппорт имеет только продольную подачу, а верхний – только поперечную.

Заготовка устанавливается на станке в центрах, установленных в шпинделе коробки скоростей *2* передней бабки *3*, и в шпинделе задней бабки *5*. Крутящий момент передается на заготовку через кулачки зажимного патрона. На направляющих станины *1* смонтированы нижний и верхний суппорты. На многорезцовых токарных полуавтоматах обтачивают только наружные поверхности заготовок: цилиндрические, конические, фасонные, плоские торцевые, кольцевые канавки, фаски. Схема обработки представлена на рис. 3.13.

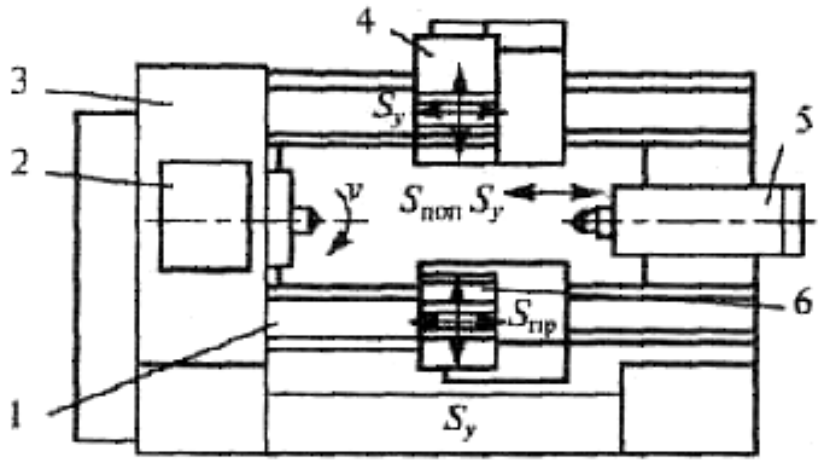


Рис. 3.12. Токарный многорезцовый полуавтомат:
1 – направляющие станины; *2* – коробка скоростей; *3* – передняя бабка;
4 – верхний суппорт; *5* – задняя бабка; *6* – верхний суппорт

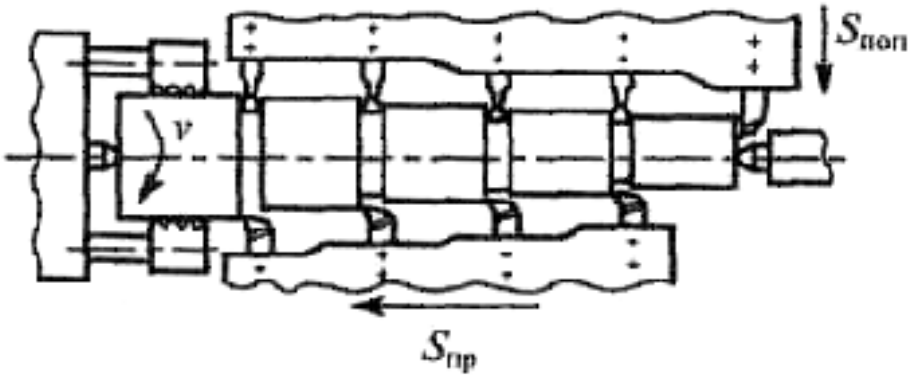


Рис. 3.13. Схема обработки заготовки на многорезцовом полуавтомате

3.2.1. Универсальные приспособления токарных станков

Кулачковые патроны

На токарных станках применяют двух-, трех- и четырехкулачковые патроны. В двухкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляют различные фасонные отливки и поковки, причем кулачки таких патронов часто предназначены для закрепления только одной детали. В трехкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляют детали круглой и шестигранной формы или круглые прутки большего диаметра. В четырехкулачковых самоцентрирующих патронах закрепляются прутки квадратного сечения, а в патронах с индивидуальной регулировкой кулачков детали прямоугольной или несимметричной

формы. Кулачковые патроны выполняются с ручным и механизированным приводом зажимов. Наиболее распространен *самоцентрирующий трехкулачковый патрон* (рис. 3.14). Кулачки *1 – 3* перемещаются одновременно по спирали на диске *4*, в витки которой заходят кулачки ниж-

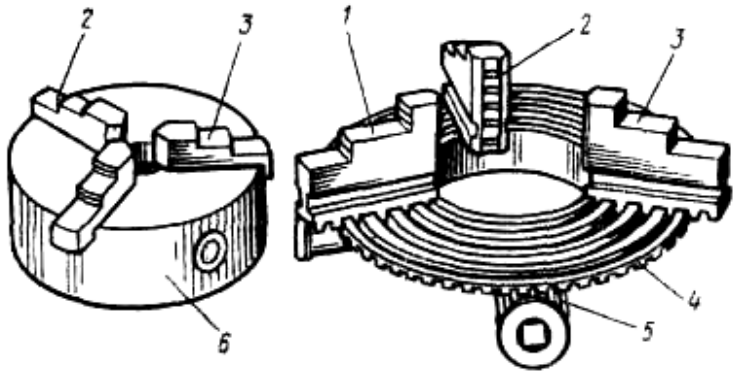


Рис. 3.14. Трехкулачковый самоцентрирующий патрон: *1–3* – кулачки; *4* – спираль на диске; *5* – конические зубчатые колеса;*6* – корпус патрона

ними выступами. На обратной стороне диска нарезано коническое колесо, сопряженное с тремя коническими зубчатыми колесами *5*. При повороте ключом одного из колес *5* поворачивается диск*4*, который с помощью спирали перемещает одновременно и равномерно все три кулачка по пазам корпуса *6* патрона. В зависимости от направления вращения колес *5* кулачки приближаются или удаляются от центра, соответственно, зажимая или освобождая деталь.

Четырехкулачковый патрон с независимым перемещением кулачков применяют преимущественно для закрепления и обработки деталей некруглой и несимметричной формы. Четырехкулачковый патрон с независимым перемещением кулачков (рис. 3.15) состоит из корпуса *1*, в

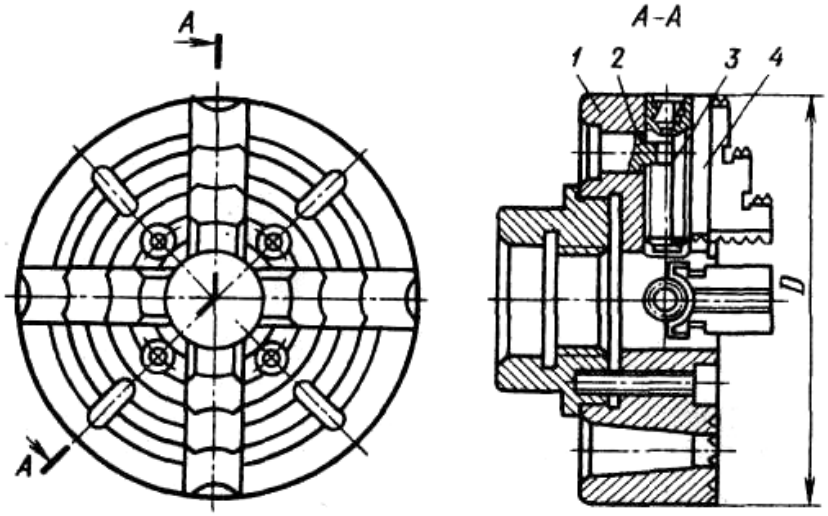


Рис. 3.15. Четырехкулачковый патрон с независимым перемещением кулачков: *1* – корпус патрона; *2* – сухарь; *3* – винт; *4* – кулачок

в котором выполнены четыре паза, в каждом пазу смонтирован кулачок *4* с винтом *3* для независимого перемещения кулачков по пазам в радиальном направлении. От осевого смещения винт *3* удерживается сухарем *2*. Кулачки могут быть повернуты на 180° для закрепления заготовок деталей по внутренней или наружной поверхности. На передней поверхности патрона нанесены концентричные риски (расстояние между ними 10 – 15 мм), которые позволяют выставить кулачки на одинаковом расстоянии от центра патрона.

Центры. Хомутики

Центры. В зависимости от формы и размеров обрабатываемых деталей применяют центры различных типов (рис. 3.16, *а* – *е*). Угол при вершине рабочей части центра обычно равен 60°. Конические поверх-

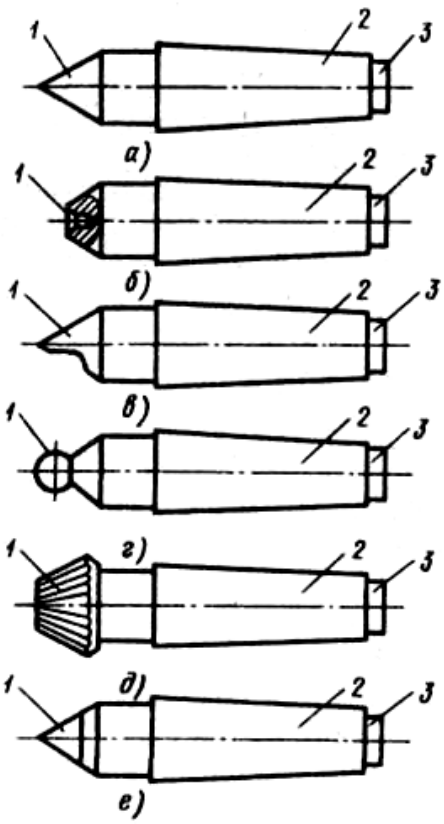


Рис. 3.16. Типы (*а* – *е*) центров:
1– рабочая часть; *2* – хвостовая часть;
3 – опорная часть

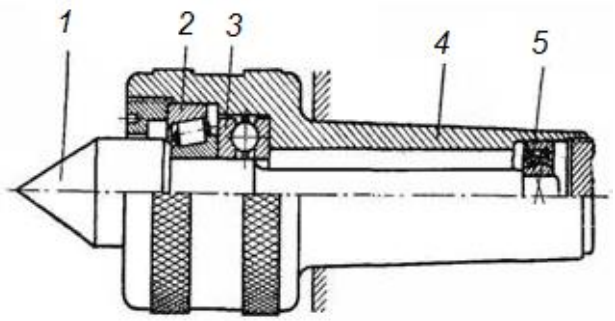


Рис. 3.17. Вращающийся центр:
1 – центр; *2,3,5* – подшипники;
4 – хвостовая часть

ности рабочей и хвостовой части центра не должны иметь забоин, так как это приводит к погрешностям при обработке деталей. Диаметр опорной части 3 меньше меньшего диаметра хвостовой части конуса.

Это позволяет выбирать центр из гнезда без повреждения конической поверхности хвостовой части. Центр, показанный на рис. 3.16, *б*, служит для установки заготовок диаметром до 4 мм. У таких заготовок вместо центровых отверстий имеются наружные конические поверхности с углом при вершине 60°, который входит во внутренний конус центра, названный обратным. Если необходимо подрезать торец заготовки, применяют срезанный центр (рис. 3.16, *в*), который устанавливают только в пиноль задней бабки.

Центр со сферической рабочей частью (рис. 3.16, *г*) применяют в тех случаях, когда требуется обработать заготовку, ось которой не совпадает с осью вращения шпинделя станка.

Центр с рифленой рабочей поверхностью рабочей части (рис. 3.16, *д*) используют при обработке заготовки с большим центровым отверстием без поводкового патрона.

В процессе обработки детали в центрах передний центр вращается вместе с ней и служит только опорой, а задний центр при этом неподвижен. Задний центр изготовляют из углеродистой стали с твердосплавной рабочей частью (рис. 3.16, *г*). При обработке с большими скоростями и нагрузками применяют задние вращающиеся центры (рис. 3.17).

Хомутики. Они предназначены для передачи вращения обрабатываемой детали, установленной в центрах станка. Хомутик надевают на обрабатываемую деталь и закрепляют винтом *1*. Хвостовиком *2* хомутик упирается в палец поводкового патрона (рис. 3.18, *а*).

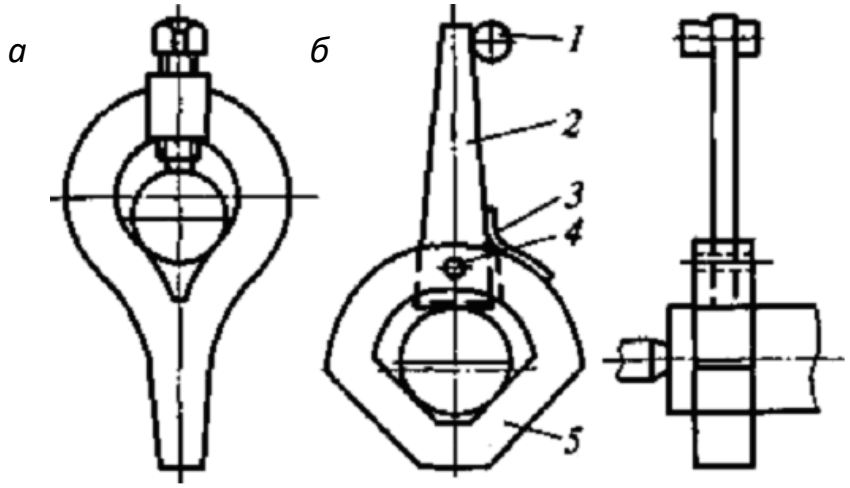


Рис. 3.18. Токарные хомутики:
а – обычный; *б* – самозатягивающийся;
1 – палец-поводок; *2* – хвостовик; *3* – пружина; *4* – ось; *5* – корпус

Поводковые патроны применяют при обработке деталей в центрах *4* и *6* станка (рис. 3.19). Передача вращения осуществляется поводковым патроном *1* через палец-поводок *2* хвостовику *3* хомутика, который крепится на детали *5* винтом.

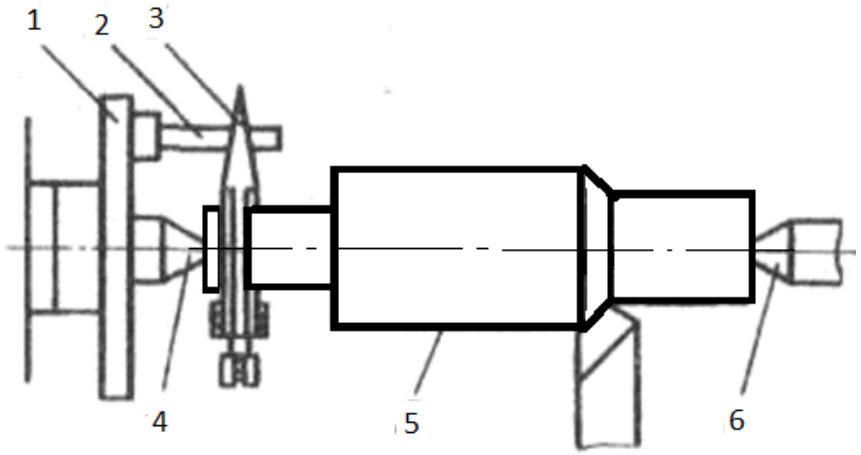


Рис. 3.19. Обработка заготовки в центрах с приводом от поводкового патрона:
1 – поводковый патрон; *2* – палец-поводок; *3* – хомутик; *4* – передний центр;
5 – обрабатываемая заготовка; *6* – задний центр

Люнеты

Для обработки длинных нежестких деталей типа валов используют дополнительные опоры – люнеты.

Неподвижный люнет (рис. 3.20) устанавливают на направляющих станины станка и крепят планкой *5* с помощью болта и гайки *6*. Верхняя часть *1* неподвижного люнета откидная, что позволяет снимать

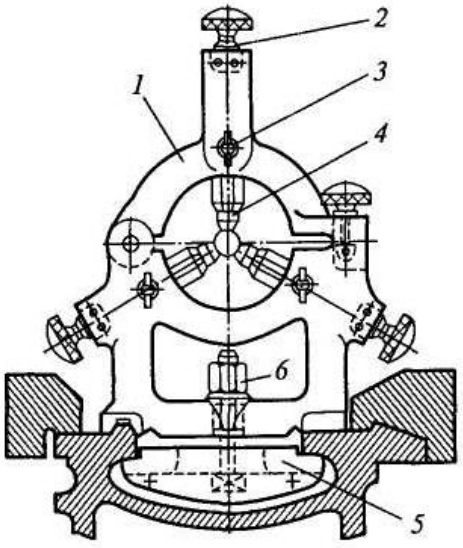


Рис. 3.20. Неподвижный люнет:
1 – откидная часть; *2* – винты;
3 – фиксирующие болты; *4* – кулачки

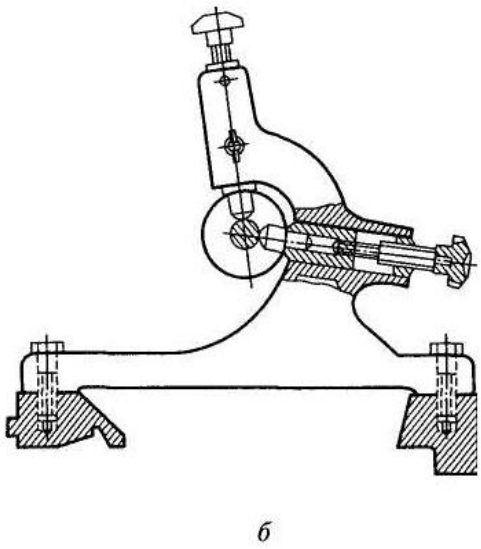


Рис. 3.21. Подвижный люнет

люнета; *5* – планка; *6* – болт с гайкой

и устанавливать заготовки на кулачки или ролики *4* люнета, которые служат опорой для обрабатываемой заготовки и поджимаются к детали винтами *2*. После установки заготовки винты *2* фиксируют болтами *3*.

На заготовке, в местах установки роликов люнета, протачивают канавку. Проточку обычно выполняют посередине заготовки. *Подвижный люнет* (рис. 3.21) крепится на каретке суппорта и перемещается при обработке вдоль детали. Подвижный люнет имеет два кулачка, которые служат опорами для заготовки. Третьей опорой является резец.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. По каким принципам классифицируют резцы?
2. Какие виды креплений режущих элементов используют?
3. Каковы преимущества у резцов с механическим креплением пластин?
4. В каком порядке проводится заточка поверхности лезвий резца?
5. Каково назначение ходового винта и ходового вала токарно-винторезного станка?
6. Где закрепляются инструменты на карусельных станках?
7. В чем различия токарно-револьверных станков основных типов?
8. Чем конструктивно различаются суппорты токарно-револьверного автомата?
9. Зачем и как изменяют частоту вращения распределительного вала за цикл обработки на автомате 1Б265-6К?
10. Какие типы устройств используют для управления работой в токарных автоматах и полуавтоматах?

4. ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

Сверление, зенкерование и развертывание – широко распространенные в машиностроении процессы обработки глухих и сквозных отверстий в широком диапазоне диаметров (рис. 4.1).

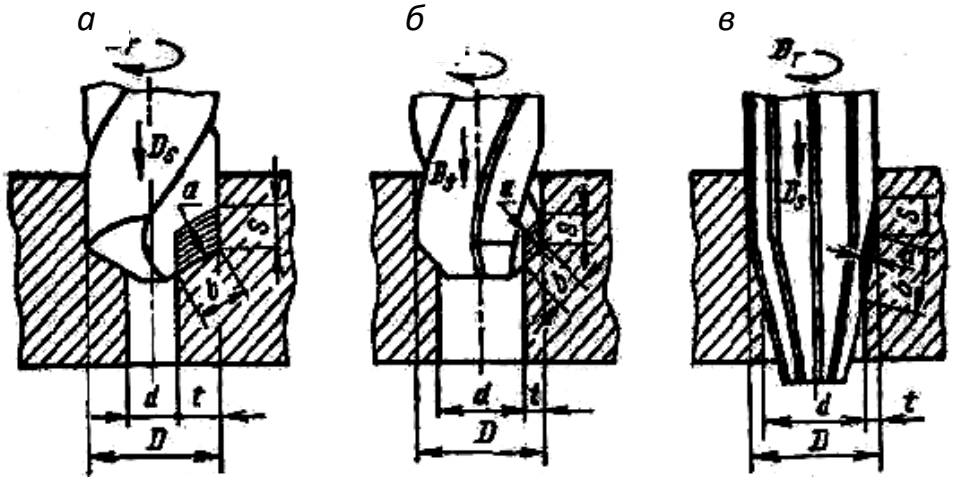


Рис. 4.1. Схемы обработки:
а – при рассверливании; *б* – зенкеровании; *в* – развертывании

Эти процессы осуществляются при сочетании вращательного движения инструмента вокруг своей оси – движения резания, и поступательного движения вдоль оси – движения подачи. Инструменты для этих процессов называют осевыми.

4.1. Характеристика методов обработки осевым инструментом

Сверление **–** черновая обработка отверстий в сплошном материале. Сверлением получают сквозные и несквозные (глухие) отверстия и обрабатывают предварительно полученные отверстия в целях увеличения размеров, повышения точности, снижения шероховатости. Обработанные сверлением отверстия имеют параметр шероховатости Ra = 12,5 мкм.

Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении. Затруднен отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости к режущим кромкам инструмента. При выходе стружки

происходит трение ее о поверхность канавок сверла и сверла о поверхность отверстия. В результате увеличивается тепловыделение.

Зенкерование **–** получистовая обработка отверстий, обеспечивающая более высокую точность и шероховатость *Ra* = 3,2÷6,4 мкм.

Зенкерование применяют при обработке глухих и сквозных отверстий, предварительно обработанных сверлением, либо полученных литьем или ковкой. Увеличенное по сравнению со сверлом число режущих кромок зенкера позволяет получить более точное по размеру и форме отверстие.

Для обработки бобышек и углублений вокруг отверстий применяют специальные зенкеры (рис. 4.2).

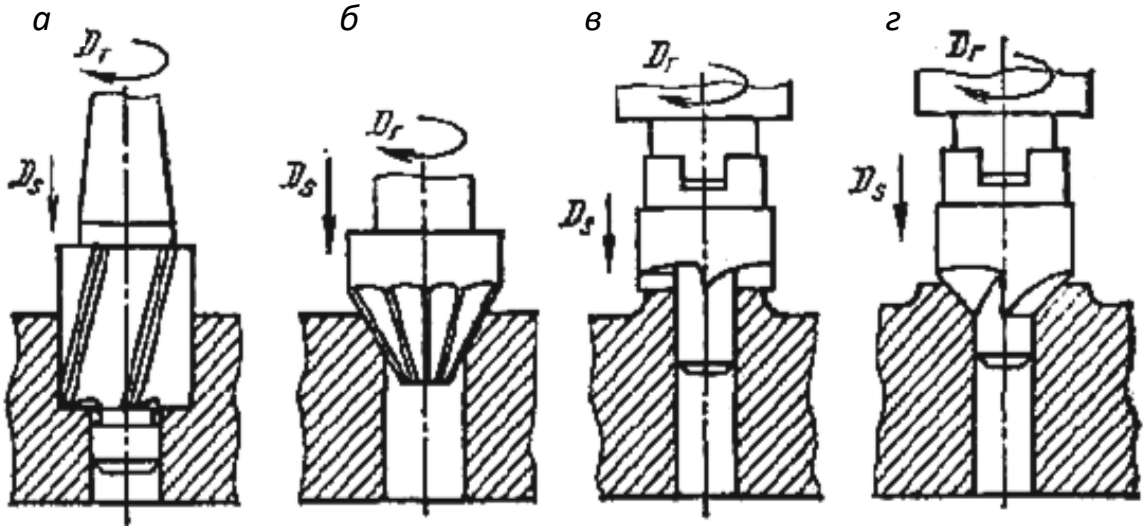


Рис. 4.2. Схемы обработки углублений и бобышек зенкерами:
а, б, г – зенкование; *в* – цекование

Развертывание – чистовая обработка, повышающая точность после зенкерования и обеспечивающая шероховатость *Ra* = 0,5÷1,6 мкм.

4.2. Конструктивные особенности инструментов основных типов

Наиболее распространенными инструментами для обработки отверстий являются сверла. Они используются для сверления отверстий диаметром от десятых долей до десятков миллиметров (мм) различной глубины. По конструктивным признакам сверла можно разделить на спиральные, перовые, для глубоких отверстий, комбинированные центровочные (рис. 4.3).

Наиболее простыми в изготовлении являются перовые сверла, представляющие собой заостренную пластину с весьма несовершенной формой рабочей части. Эти сверла применяют для обработки от-

верстий малого (0,2 – 1 мм) и большого (более 80 мм) диаметра, а также при ремонте. Нашли применение составные перовые сверла в виде пластины, закрепленной в державке (рис. 4.3, *в*). Обработку отверстий в сталях, чугунах, легких сплавах и дереве при глубине более 10 диаметров без периодического вывода сверла проводят шнековыми сверлами (рис. 4.3, *г*).

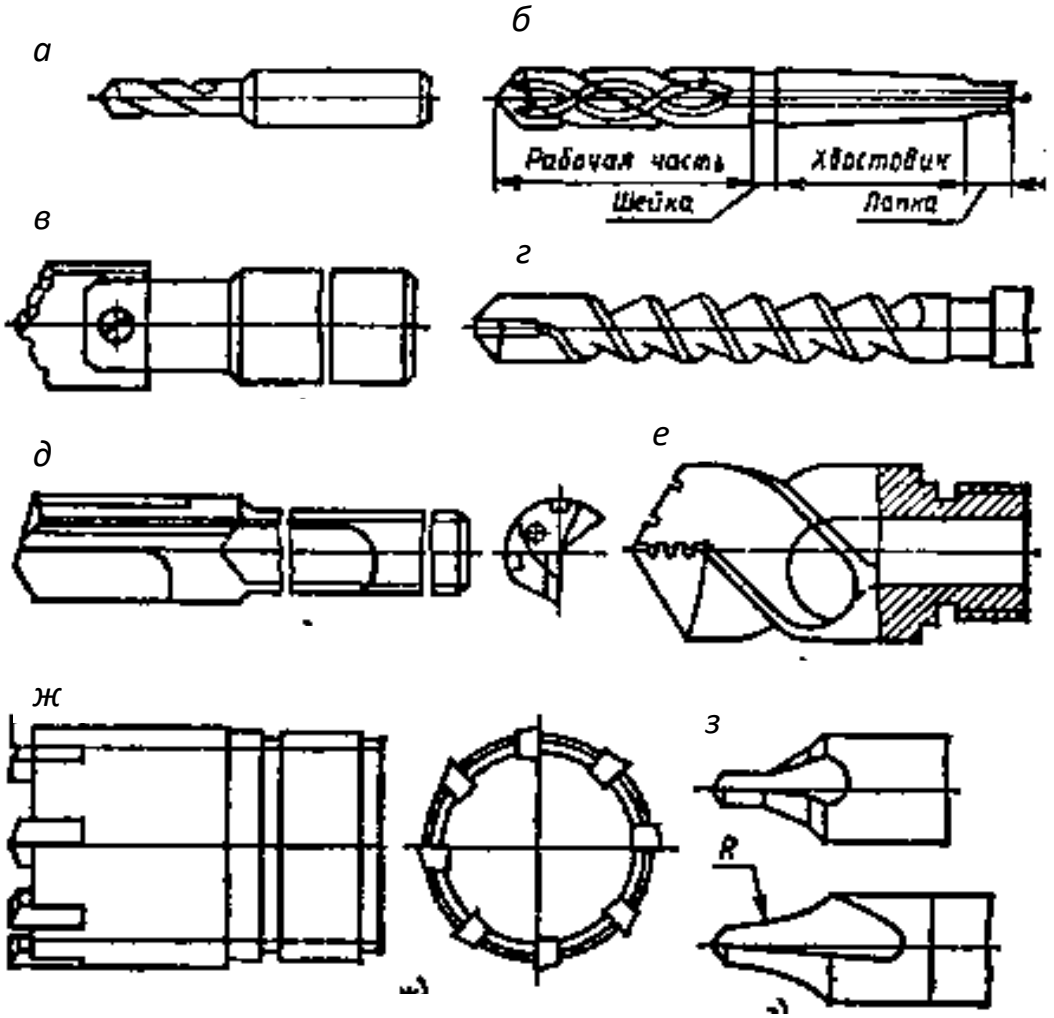


Рис. 4.3. Конструкции сверл:
а – б – спиральные; *в* – перовое; *г* – шнековое; *д, е* – сверла для глубокого сверления; *ж* – кольцевое; *з* – центровочное

Глубокие отверстия с осью, имеющей малое отклонение от прямолинейности, получают сверлами однокромочного резания с вершиной, смещенной относительно оси (рис. 4.3, *д*). Это, а также то, что сверло опирается направляющими пластинами на боковую поверхность отверстия, обеспечивает малое отклонение от прямолинейности его оси.

Сквозные отверстия диаметром 80 – 200 мм и более получают сверлами кольцевого сверления (рис. 4.3, *ж*).

Обработку центровых отверстий проводят центровочными комбинированными сверлами (ГОСТ 14952 – 75) двух типов: без предохранительной фаски и с предохранительной фаской 120°. Сверла этих типов изготовляют из быстрорежущей стали.

Наиболее многочисленной является группа спиральных сверл (рис. 4.4). Размерный ряд спиральных сверл начинается с малоразмерных сверл диаметром 0,1 – 1,5 мм по ГОСТ 8034–76 с утолщенным цилиндрическим хвостовиком.

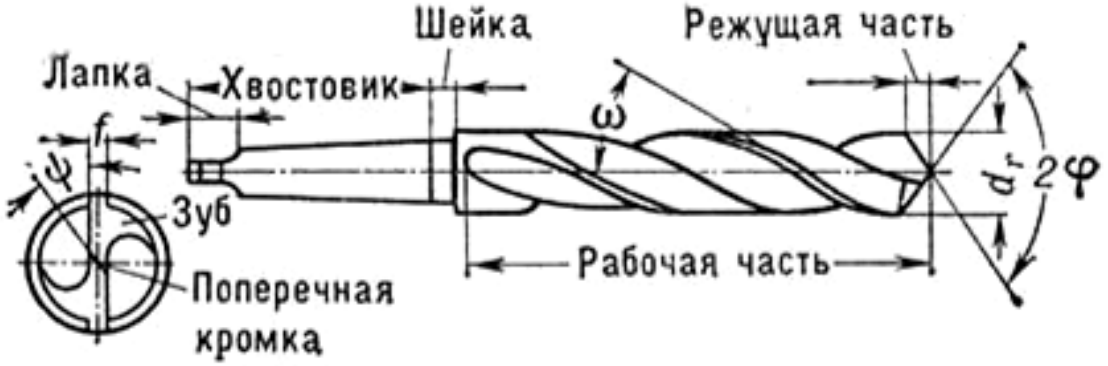


Рис. 4.4. Винтовое сверло по металлу

Спиральные сверла диаметром более 8 мм в целях экономии изготовляют сварными с рабочей частью из быстрорежущей стали и хвостовиком из конструкционной стали. Сверла с пластинами из твердого сплава ВК и сверла с внутренним подводом охлаждающей жидкости (ГОСТ 6647–64) предназначены для сверления труднообрабатываемых материалов.

В отличие от резца передние поверхности сверла винтовые, главные задние поверхности обычно конические, а вспомогательные задние – винтовые ленточки, обеспечивающие направление сверла в процессе резания.

Геометрия сверла характеризуется углами наклона винтовых канавок ω, углом при вершине 2φ; углом наклона поперечной кромки ψ (ψ = 50÷55°); углы **γ** и α вдоль режущих кромок сверла переменные (рис. 4.5).

У стандартных сверл угол 2φ = 116÷118°, ω = 20 – 25°. Для малопрочных обрабатываемых материалов он уменьшается до 90°, а для высокопрочных увеличивают до 140°.

Зенкеры, применяемые в машиностроении для обработки отверстий диаметром до 20÷40 мм, изготовляют цельными (рис. 4.6, *а*).

Обработку отверстий больших диаметров (D > 30 мм) проводят насадными зенкерами (рис. 4.6, *б*), установленными на оправку.

Их изготовляют из быстрорежущей стали либо оснащают твердым сплавом (ГОСТ 12509–75). Для экономии инструментального материала, начиная с диаметра 50 мм и выше насадные зенкеры (ГОСТ 255–71) оснащаются вставными ножами из быстрорежущей стали.

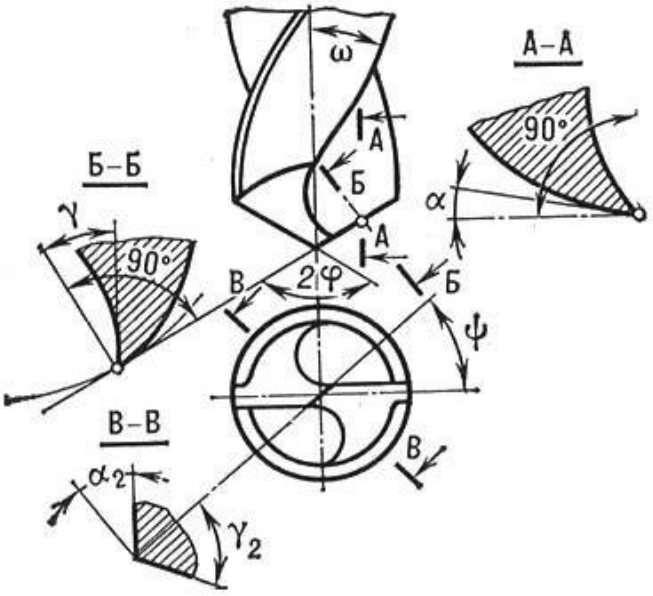


Рис. 4.5. Углы винтового сверла по металлу

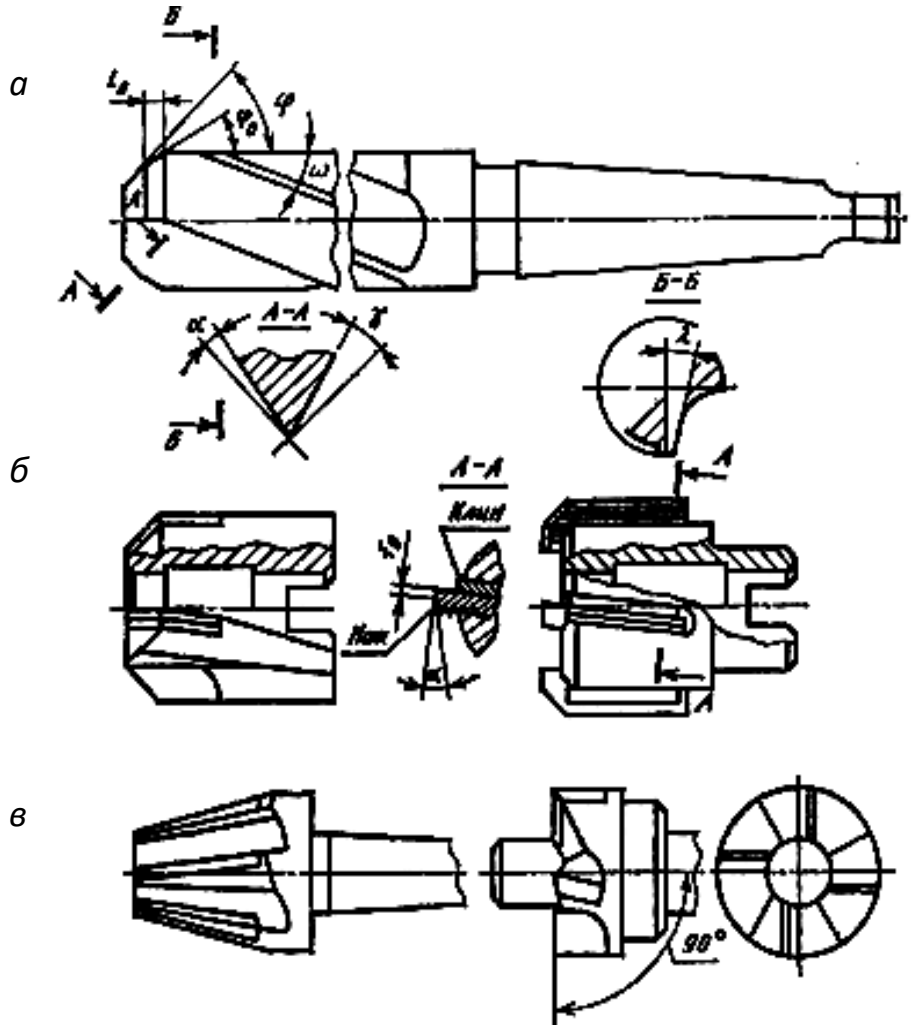


Рис. 4.6. Конструкции зенкеров:
а – цельный цилиндрический зенкер с коническим хвостовиком;
б – цилиндрические насадные зенкеры; *в* – конический и торцевой зенкеры

Обработку прилегающих к отверстиям поверхностей проводят зенковками коническими, цилиндрическими цековками (рис. 4.6, *в*) из инструментальных сталей либо этими инструментами, оснащенными твердым сплавом. Глубина резания при зенкеровании увеличивается с возрастанием диаметра отверстия, и обычно составляет (0,05÷0,1) $d_з$, где $d_з$ – диаметр обрабатываемого отверстия. Геометрические параметры цилиндрического зенкера показаны на рис.4.6, *а*. Зенкер имеет режущую часть, режущие кромки которой расположены под углом $\varphi_o = 45 – 60^o$.

Передний угол **γ,** в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала и материала зенкера назначается $0÷15^o$.

Задний угол α принимается в пределах $8÷10^o$. *Угол наклона винтовой канавки* $\omega = 10÷30^o$.

В зависимости от формы обрабатываемых отверстий развертки разделяют на цилиндрические (ГОСТ 1523–81Е) и конические

(ГОСТ 11177–84) (рис. 4.7, *а, б*). Они могут быть машинными или ручными. Для ремонтных работ выпускают ручные разжимные развертки (ГОСТ 3509–71) с пределами регулирования диаметра 0,5÷3 мм (рис. 4.7, *г*). Развертки целиком изготовляют из быстрорежущей стали с цилиндрическими (для D <10 мм) либо коническими хвостовиками (для D> 10 мм). Как и зенкеры, развертки для диаметров отверстий более 30 мм делают насадными с ножами из быстрорежущих сталей либо твердых сплавов (рис. 4.7, *е*). Вставные ножи имеют рифления, идентичные рифлениям в пазах корпуса. Это позволяет перестановкой ножей и закреплением их клиньями настраивать развертку на нужный диаметр.

4.3. Режим резания при сверлении

За глубину резания при сверлении отверстий в сплошном материале принимают половину диаметра сверла:

$$t = D/2,$$

а при рассверливании $t = (D - d)/2$, где d – диаметр обрабатываемого отверстия, мм.

За глубину резания при зенкеровании и развертывании отверстий принимают $t = (D - d)/2$.

Подача S (мм /об) равна осевому перемещению сверла за один оборот. Величину подачи при сверлении подсчитывают по формуле

$$S = CD^{0,6},$$

где C – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и иных технологических факторов (чистота поверхности, наличие дальнейшей обработки и т. д); k_{ls} – коэффициент на подачу, зависящий от условия выхода стружки.

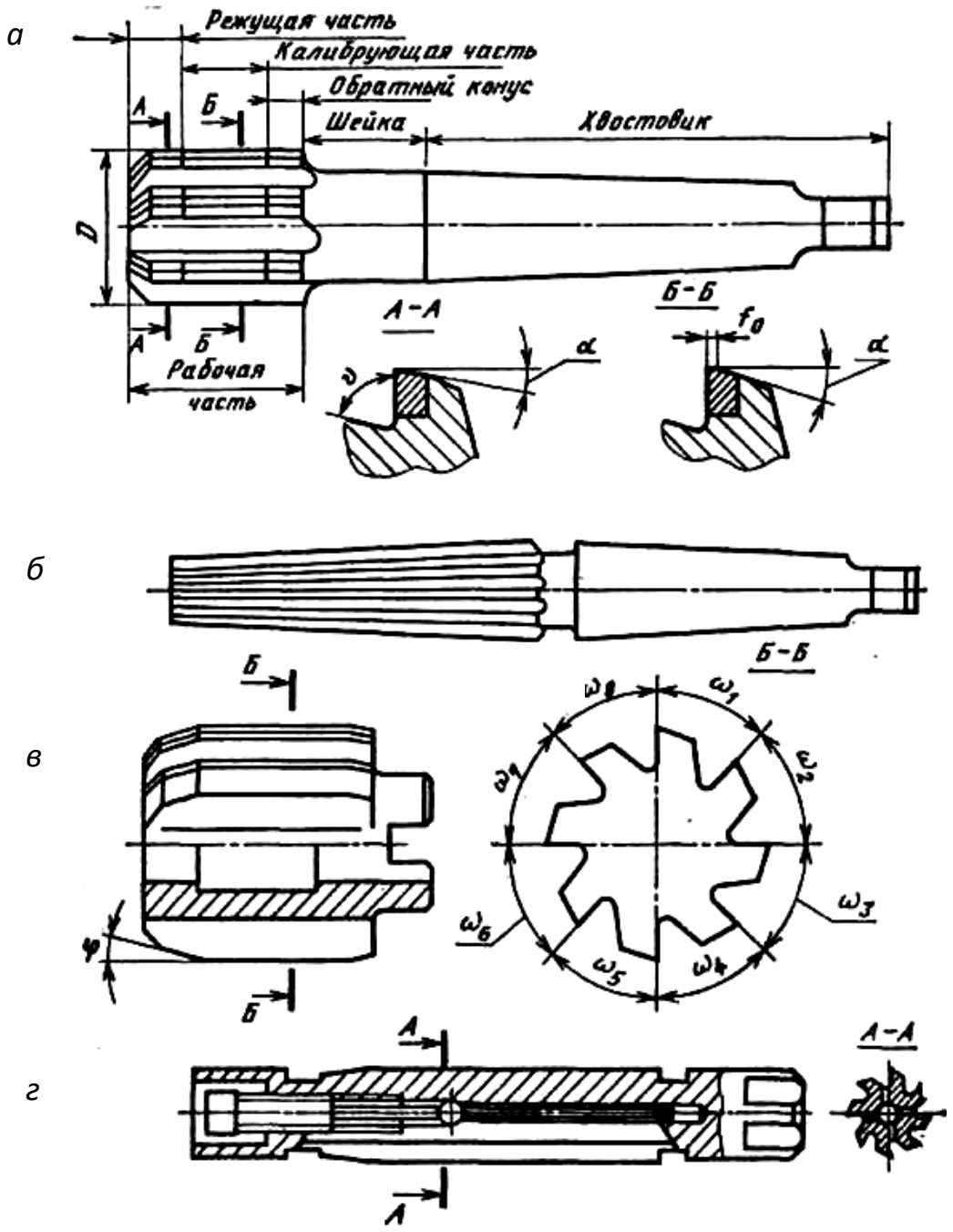


Рис. 4.7. Конструкции разверток:
а – цельная цилиндрическая; *б* – коническая; в – насадная; *г* – регулируемая

Величину подачи за один оборот шпинделя при сверлении принимают равной 0,02÷0,03 от диаметра сверла. Подачу при зенкеровании и развертывании принимают в 2÷2,5 раза больше, чем при сверлении.

За скорость резания при сверлении принимают окружную скорость точки режущей кромки, наиболее удаленной от оси сверла:

$$V = \pi D n /1000,$$

где D – диаметр сверла в мм; n – частота вращения инструмента, об/мин.

При сверлении отверстий глубиной свыше трех диаметров условия сверления ухудшаются, и поэтому необходимо снижать скорость резания, вводя поправочный коэффициент 0,9 при $L \leq 5D$ и 0,5 при $L \leq 10D$.

Стойкость. Наиболее целесообразные величины стойкости сверл, зенкеров и разверток, применяемых в производственных условиях, различны и зависят от их диаметра. Подробные данные по выбору стойкости этих инструментов содержатся в справочниках технолога-машиностроителя.

Основное технологическое время при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании определяют по формуле мин.

$$T_O = L / S \cdot n,$$

где L – расчетная длина хода режущего инструмента, мм; S – подача, мм /об; n – число оборотов в минуту. Расчетная длина хода режущего инструмента (рис. 4.8)

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где l – длина обрабатываемого отверстия, мм; l_1 – длина перебега инструмента (обычно 1 – 3 мм); l_2 – длина врезания инструмента, мм.

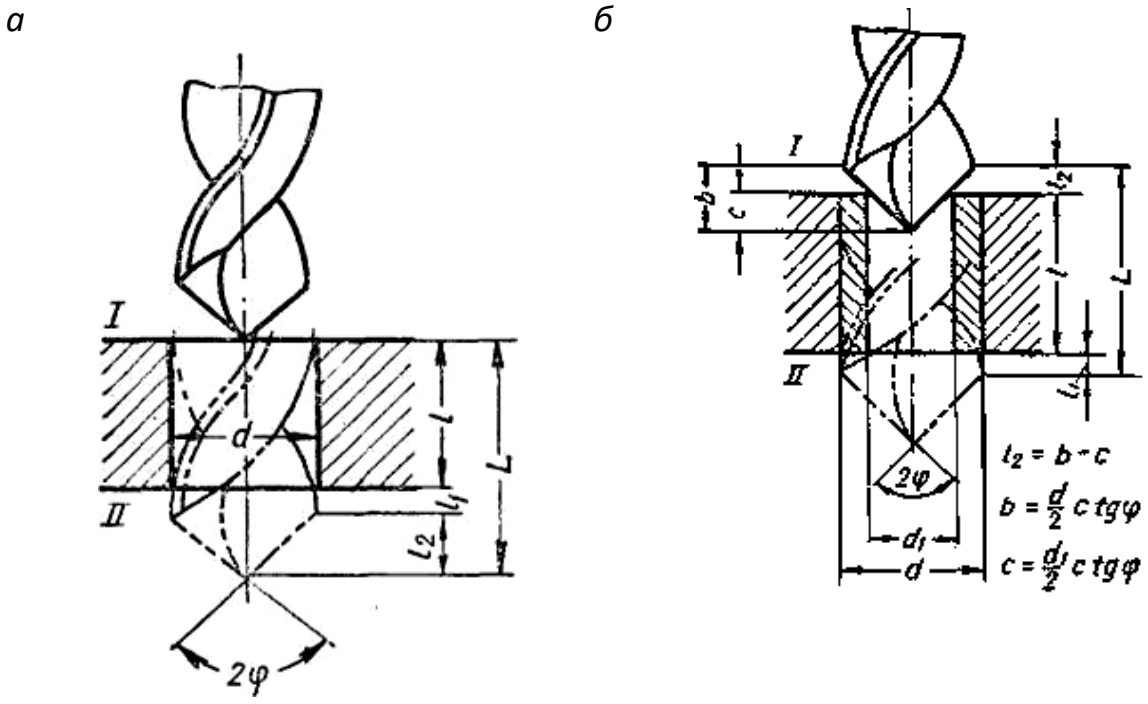


Рис. 4.8. Расчетная длина хода сверла:
а – при сверлении; *б* – при рассверливании

4.4. Силы резания при сверлении

В процессе резания сверло испытывает сопротивление со стороны обрабатываемого материала. Равнодействующую сил сопротивления, приложенную в некоторой точке A режущей кромки, можно разложить на три составляющие силы P_x, P_yи P_z (рис. 4.9).

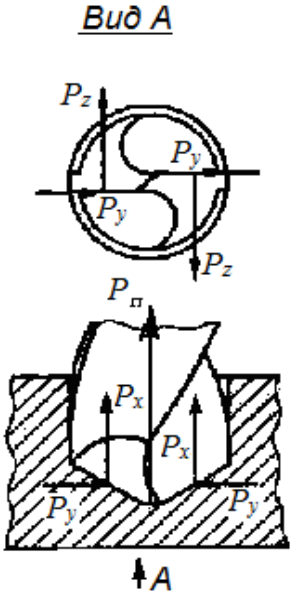


Рис. 4.9. Силы сопротивления резанию при сверлении

Составляющая P_x направлена вдоль оси сверла. В этом же направлении действует сила $P_п$ на поперечную режущую кромку. Суммарная всех указанных сил, действующих на сверло вдоль оси x, называется *осевой силой* $P_о$. Радиальные силы P_y, действующие на каждую режущую кромку сверла, взаимно уравновешиваются.

В расчетах для определения осевой силы $P_о$ (Н) и крутящего момента $M_к$ (Н·м) используют эмпирические формулы:

$$P_о = C_р D^x S^y K_р,$$

$$M_к = C_м D^x S^y K_м,$$

где $C_р$ и $C_м$ – постоянные коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал и условия; $x_р$, $y_п$, $x_м$, $y_м$ – показатели степеней; $K_р$ и $K_м$ – поправочные коэффициенты на измененные условия резания.

Коэффициенты и показатели степеней приведены в справочниках технолога-машиностроителя.

Осевая сила и крутящий момент являются исходными для расчета сверла и узлов станка на прочность, а также для определения эффективной мощности, кВт

$$N_е = M_{кр} \cdot n / (9750),$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м; n – число оборотов режущего инструмента в минуту.

4.5. Станки для обработки отверстий

Для обработки отверстий осевым инструментом **используются станки сверлильной и расточной группы.**

В состав этой группы входят:

а) вертикально-сверлильные станки;

б) радиально сверлильные;

в) горизонтально-расточные;

г) горизонтально-сверлильные станки предназначены для глубокого сверления таких деталей, как стволы винтовок, пушек и т. п.;

д) многошпиндельные сверлильные станки имеют несколько шпинделей, расположенных в ряд или по кругу;

н) центровочные станки предназначаются для центрования заготовок.

Вертикально-сверлильные станки (рис. 4.10) предназначены для сверления сквозных и глухих отверстий, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, зенкования и нарезания резьбы.

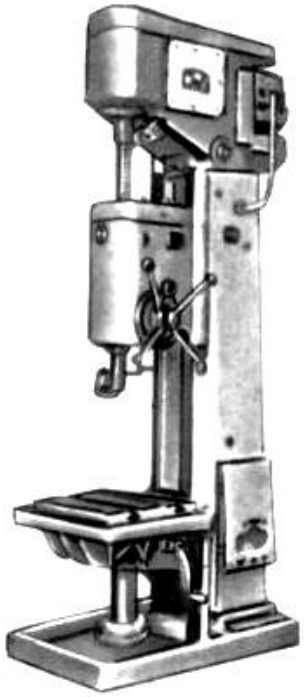


Рис. 4.10. Общий вид вертикально-сверлильного станка

Радиально-сверлильные станки предназначены для выполнения тех же операций, что и вертикально-сверлильные станки, но для изготовления деталей большего размеров. Общий вид радиально-сверлильного станка представлен на рис. 4.11. На станине смонтиро-

вана круглая вертикальная колонна и стол. Траверса перемещается по колонне на нужную высоту. По траверсе перемещается шпиндельная бабка. В результате такого перемещения шпинделя и поворота траверсы вокруг колонны обеспечивается совмещение центров инструмента и обрабатываемого отверстия.

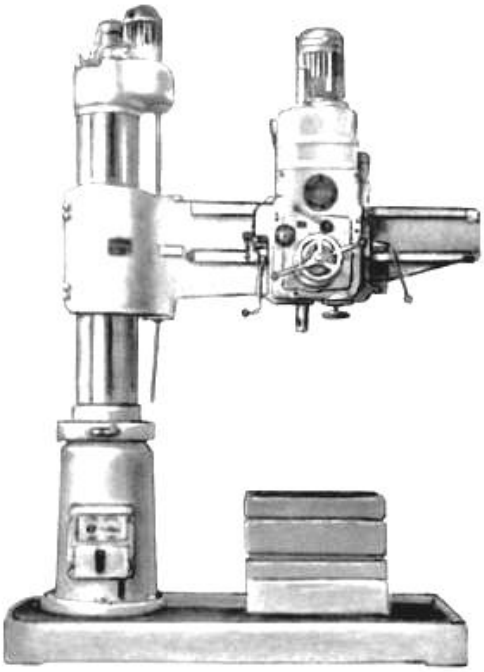


Рис. 4.11. Общий вид радиально-сверлильного станка

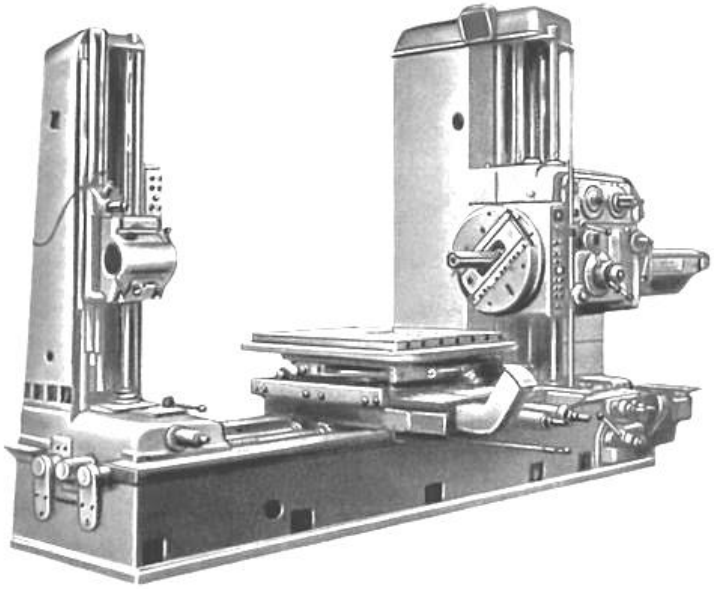


Рис. 4.12. Общий вид горизонтально-расточного станка

Горизонтально расточные станки (рис. 4.12) предназначены для черновой и чистовой обработки отверстий (сверление, зенкерования, развертывание, растачивание и др.), обтачивания цилиндрических наружных поверхностей, подрезки торцов, выточки канавок, нарезания резьб и др. На этих станках в основном обрабатывают крупные детали (корпусные). Возможные схемы обработки приведены на рис. 4.13.

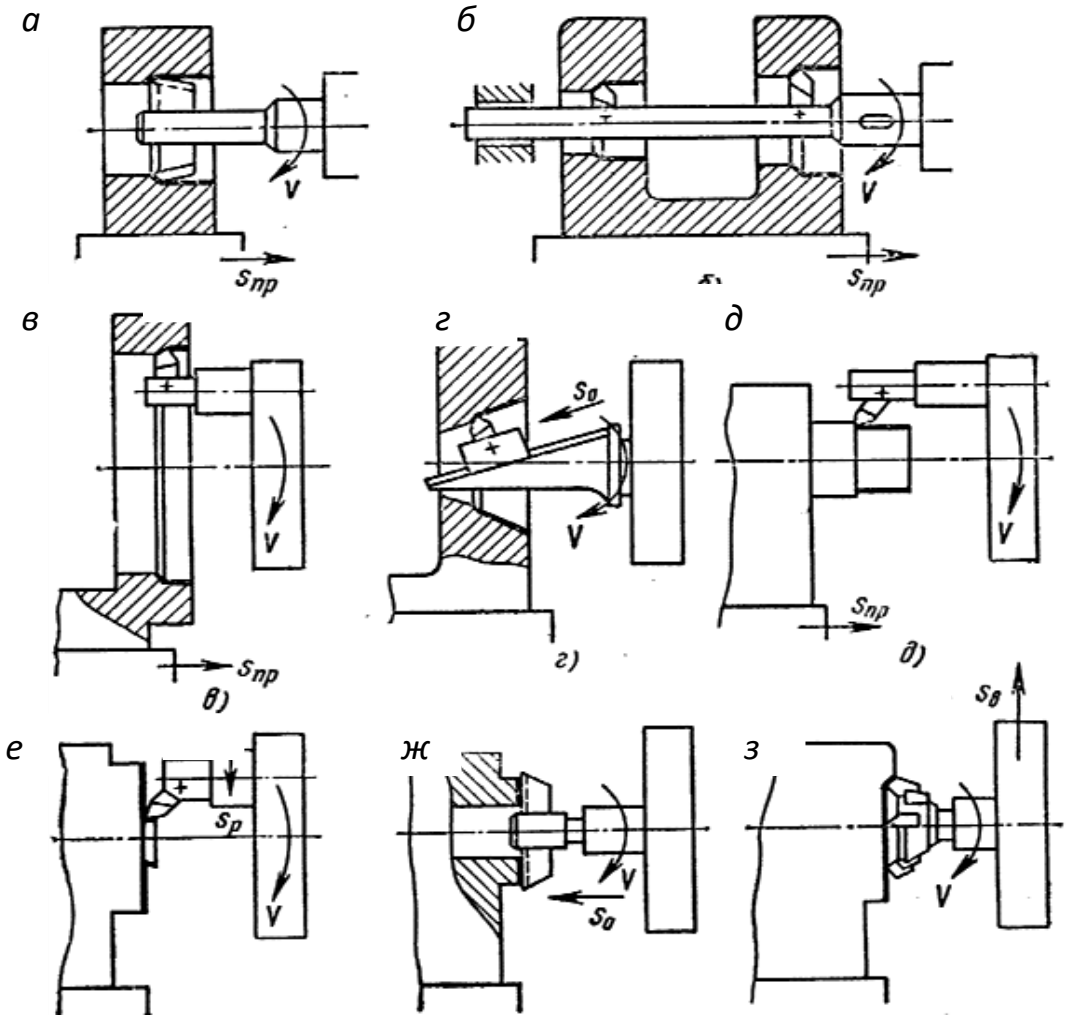


Рис. 4.13. Схемы обработки поверхностей
на горизонтально-расточных станках

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как условия работы влияют на конструкцию инструментов для обработки отверстий?
2. Назовите основные геометрические параметры режущей части сверл.
3. Чем различаются комбинированные инструменты основных типов?
4. По каким поверхностям затачивают сверла и развертки?
5. Как влияет масса обрабатываемой заготовки на конструкцию сверлильного станка?
6. Какая оснастка позволяет повысить точность и производительность обработки на сверлильных станках?
7. Назовите достигаемую точность и параметры шероховатости при обработке на горизонтально-расточных станках.
8. Чем принципиально отличаются координатно-расточные станки от горизонтально-расточных станков?

5. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

Фрезерование – широко распространенный технологический процесс обработки плоских и фасонных поверхностей многозубыми инструментами – фрезами.

При фрезеровании (рис. 5.1, *а*) фрезе сообщается вращение (главное движение *V*), а обрабатываемая деталь получает поступательное движение (движение подачи *S*).

Различают два метода фрезерования:

- *встречное фрезерование* (рис. 5.1, *б*), когда направления вращения фрезы и подачи детали в точке их контакта противоположны;
- *попутное фрезерование* (рис. 5.1, *а*), когда направления вращения фрезы и подачи совпадают.

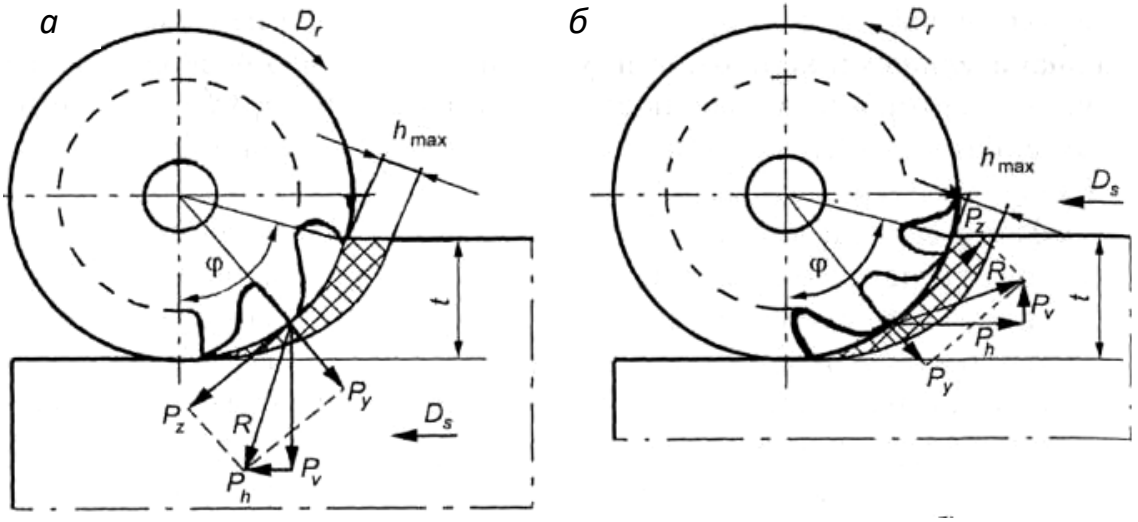


Рис. 5.1 Схемы фрезерования (цилиндрическое фрезерование):
а – попутное фрезерование; *б* – встречное фрезерование

Сравнивая встречное и попутное фрезерование, можно отметить следующее. При встречном фрезеровании происходит постепенное возрастание нагрузки на зуб по мере врезания фрезы в обрабатываемый материал, что обеспечивает более плавную работу, чем при попутном фрезеровании, когда зуб фрезы должен снимать сразу толстую стружку (h_{max}).

При встречном фрезеровании, если обрабатывается поверхность детали с коркой (литье) или окалиной (поковка), наблюдается меньший износ зубьев, так как при этом зуб врезается в металл под корку.

При попутном фрезеровании зуб встречает корку и сильнее изнашивается. При попутном фрезеровании обеспечивается более чистая обработанная поверхность, чем при встречном.

Условия резания при фрезеровании существенно отличаются от условий работы другими инструментами, например, при точении и сверлении. В процессе точения и сверления режущие кромки инструмента находятся все время в контакте с обрабатываемой деталью и стружкой, т. е. режут непрерывно до окончания обработки поверхности, при фрезеровании же каждый зуб фрезы участвует в резании периодически, выполняя работу резания лишь в течение незначительной части своего оборота, определяемой углом контакта фрезы с обрабатываемой деталью. За остальную часть оборота зуб фрезы не режет и успевает несколько охладиться. Кроме того, поскольку фреза является многолезвийным инструментом, вся работа резания выполняется большим количеством зубьев (8 – 12 и больше).

5.1. Фреза и ее элементы

Фреза состоит из корпуса (тела) и режущих зубьев. Зубья можно изготовлять за одно целое с корпусом (цельные фрезы) или делать вставными и закреплять в корпусе (фрезы со вставными зубьями).

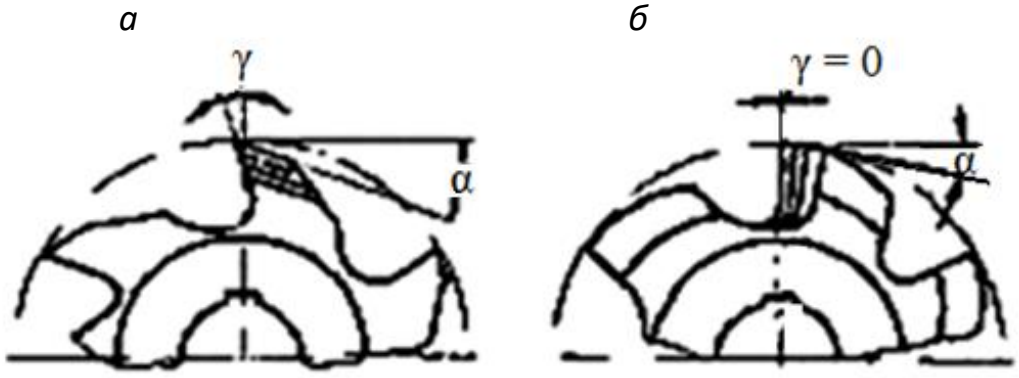


Рис. 5.2. Форма зубьев фрез:
а – остроконечная; *б* – затылованная

В зависимости от конструкции зуба, фрезы бывают с остроконечными (рис. 5.*2, а*) и с затылованными (рис. 5.2, *б*) зубьями.

Фасонные, модульные и резьбовые фрезы изготовляют с затылованными зубьями, остальные – с остроконечными зубьями.

Заднюю поверхность затылованного зуба фрезы обрабатывают по архимедовой спирали (на токарно-затыловочных станках). Особен-

ность фрез с затылованным зубом состоит в том, что их перетачивают только по передней поверхности; наличие зуба с затылком, очерченным по архимедовой спирали, обеспечивает сохранение неизменного фасонного профиля зубьев при переточке и постоянство заднего угла. Передний угол зубьев затылованной фрезы обычно берут, равным нулю.

В отличие от затылованных фрез, переточку фрез с остроконечным зубом производят по задней поверхности.

Фрезы с остроконечным зубом, по сравнению с фрезами с затылованным зубом, *имеют следующие преимущества:*

- простоту изготовления и переточки;
- лучшие условия резания вследствие наличия положительного переднего угла;
- увеличение прочности зуба по мере переточки, в то время как прочность затылованного зуба по мере переточки уменьшается.

К недостаткам фрез с остроконечным зубом относятся:

- невозможность использования для обработки фасонных поверхностей вследствие изменения профиля зубьев при переточке;
- уменьшение пространства между зубьями для размещения стружки по мере переточки.

Фрезы с остроконечным зубом применяют для обработки плоскостей, а с затылованным зубом – для обработки фасонных поверхностей.

5.2. Основные типы фрез

Фрезы для обработки плоскостей. Для обработки плоскостей применяют фрезы цилиндрические цельные (рис. 5.3) и торцевые цельные со вставными ножами, оснащенными пластинками быстрорежущей стали или твердого сплава (рис. 5.4).

Цилиндрические фрезы применяют обычно на горизонтально-фрезерных станках, торцевые – на вертикально-фрезерных, продольно-фрезерных и агрегатных станках.

Фрезы для обработки канавок и пазов. Для обработки канавок и пазов различной формы применяют дисковые фрезы с прямыми или

разнонаправленными зубьями, а также пальцевые или концевые фрезы формы, соответствующей профилю паза (рис. 5.5).

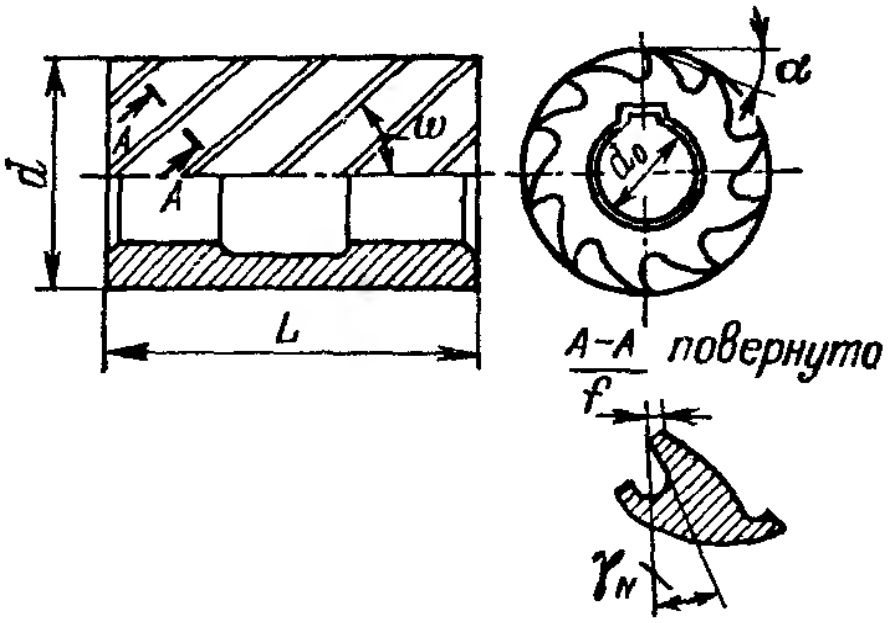


Рис. 5.3. Цилиндрическая фреза

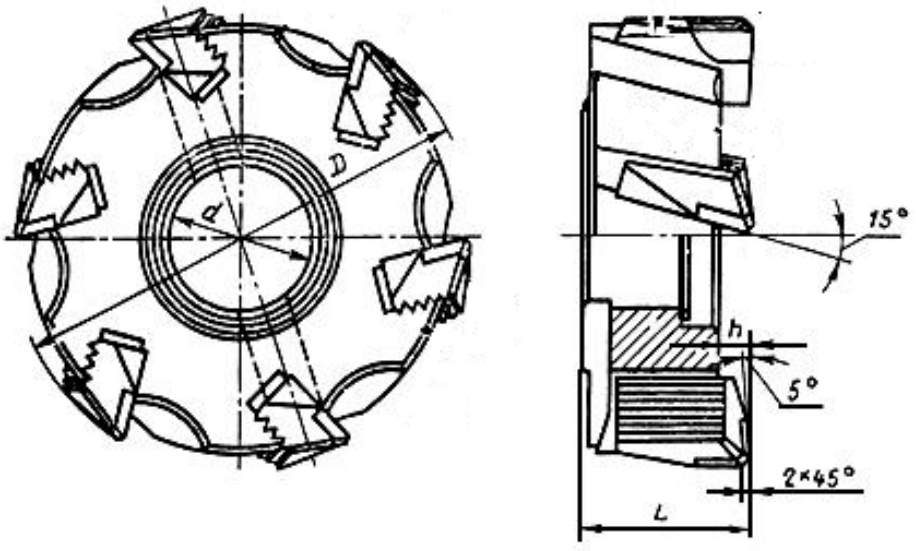


Рис. 5.4. Фреза торцевая со вставными ножами

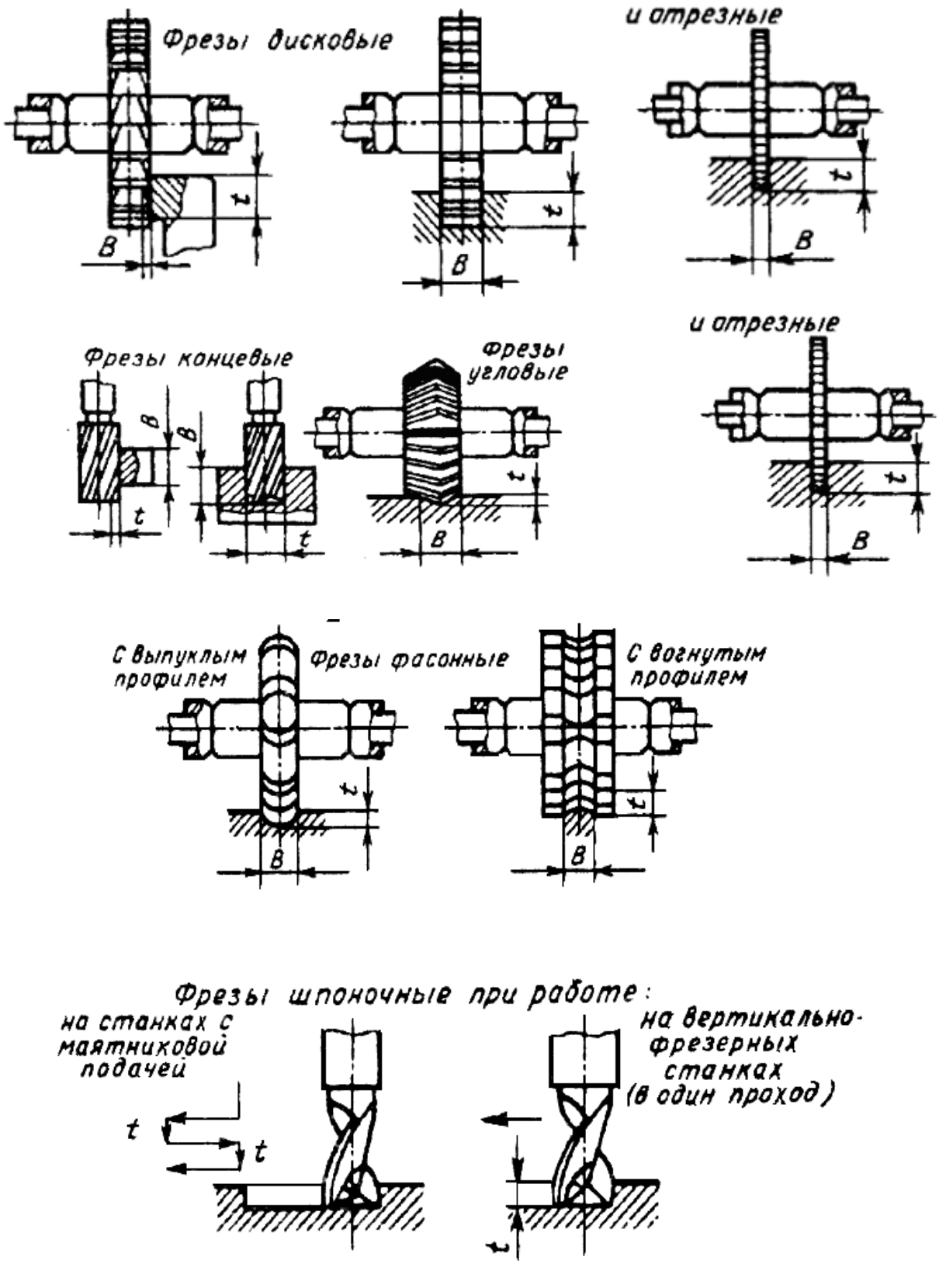


Рис. 5.5. Основные типы фрез

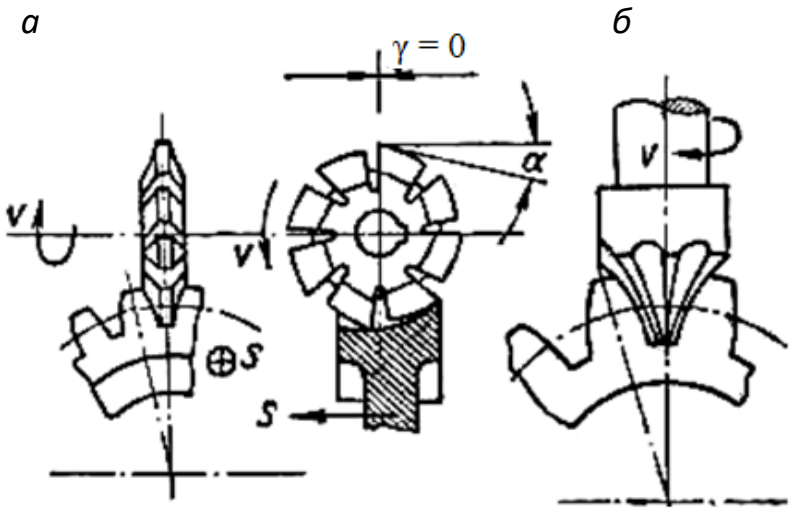


Рис. 5.6. Модульные фрезы для фрезерования зубьев зубчатых колес по методу копирования:
а – дисковая; *б* – пальцевая

Фрезы для обработки зубьев зубчатых колес. Для фрезерования зубьев колес по методу копирования на универсально-фрезерных станках применяют модульные дисковые фрезы (рис. 5.7, *а*) и пальцевые фрезы (рис. 5.7, *б*). При работе на зубофрезерных станках применяют червячные фрезы.

Фрезы для фрезерования резьбы могут быть дисковыми и гребенчатыми. Дисковые фрезы (см. рис. 5.7, *а*) применяют для нарезания трапецеидальной и треугольной резьб. Для фрезерования коротких треугольных резьб употребляют гребенчатые резьбовые фрезы (см. рис. 5.7, *б*).

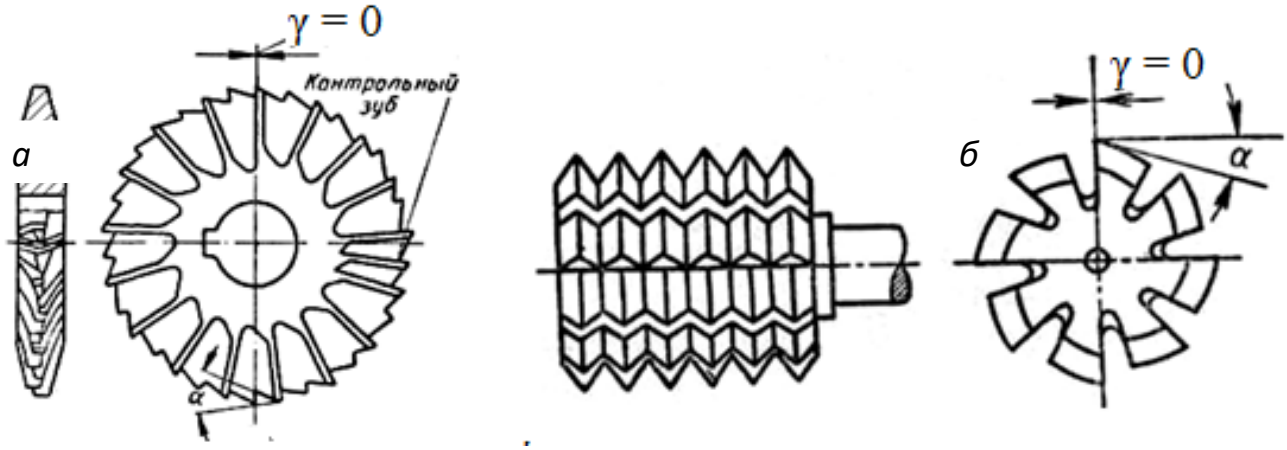


Рис. 5.7. Резьбовые фрезы:
а – дисковая; *б* – гребенчатая

5.3. Режим резания при фрезеровании

Скоростью резания V при фрезеровании называется окружная скорость режущей кромки зубьев фрезы на ее наружном диаметре.

Глубиной резанията называется толщина слоя обрабатываемого материала, снимаемого фрезой за один проход (рис. 5.8, *а, б*).

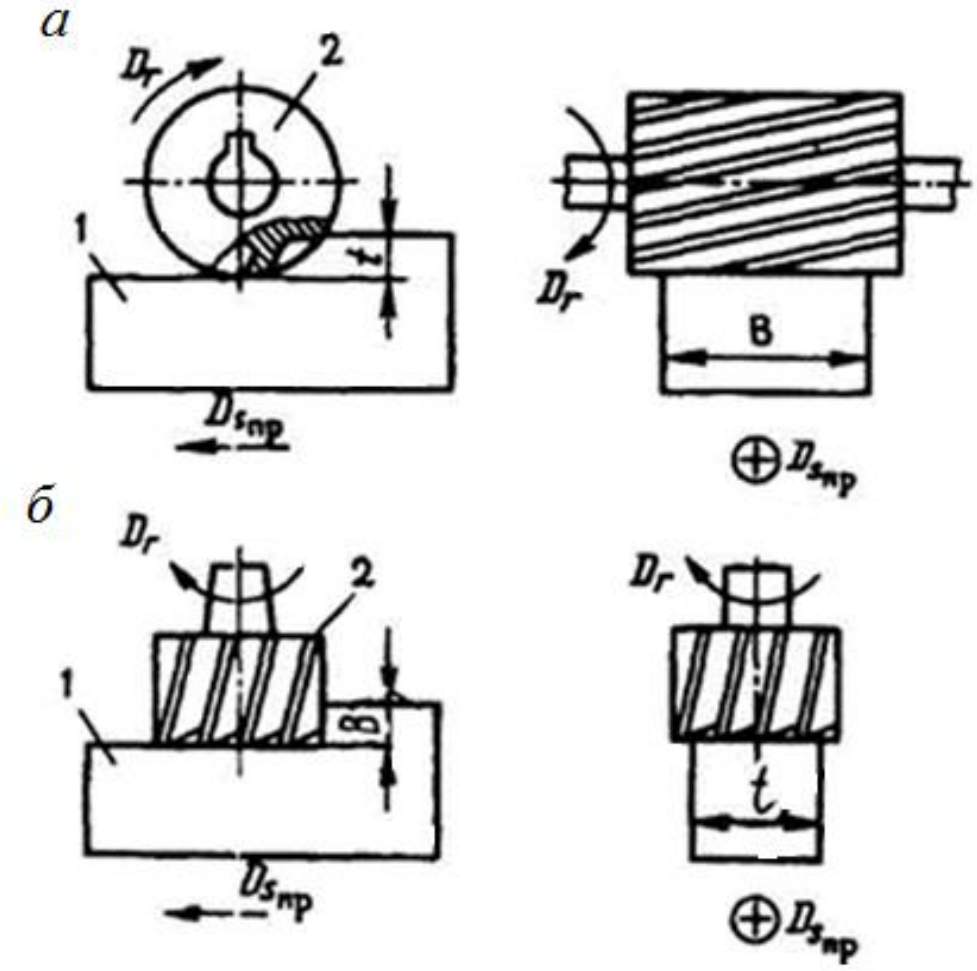


Рис. 5.8. Схемы фрезерования:
а – цилиндрической фрезой; *б* – торцевой фрезой

При симметричном торцевом фрезеровании (рис. 5.8, *б*) глубина резания равна ширине фрезеруемой заготовки, а ширина фрезерования равна толщине срезаемого слоя.

Шириной фрезерования B называется длина поверхности контакта фрезы с обрабатываемой деталью, измеренная в направлении, перпендикулярном к направлению подачи.

Подачей S называется величина перемещения обрабатываемой детали относительно оси фрезы. При фрезеровании различают: подачу на один зуб фрезы S_z, подачу на один оборот фрезы S_o, подачу в

минуту $S_м$. При этом $S_м = S_o \cdot n = S_z \cdot n$, мм/мин, где z – число зубьев фрезы; $n = 1000 \cdot V/(\pi \cdot D)$ – число оборотов фрезы в минуту.

Величину подачи на один зуб фрезы при фрезеровании стали цилиндрическими фрезами принимают в пределах 0,03÷0,08 мм.

При фрезеровании стали торцевыми фрезами подачи на зуб принимают в пределах 0,04÷0,15 мм.

При обработке чугуна и бронзы значения подачи увеличивают в 1,5 – 2 раза по сравнению с приведенными выше данными для стали.

При фрезеровании деталей тонкостенных, а также имеющих малые опорные поверхности, не обеспечивающие надежного закрепления, подачу следует снижать с целью уменьшения усилий резания.

Основное технологическое время T_o при фрезеровании определяется по формуле, мин.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_м},$$

где $L = l + l_1 + l_2$ – длина фрезеруемой поверхности, мм; l_1 – путь врезания фрезы, мм; l_2 – величина перебега фрезы, мм (рис. 5.9).

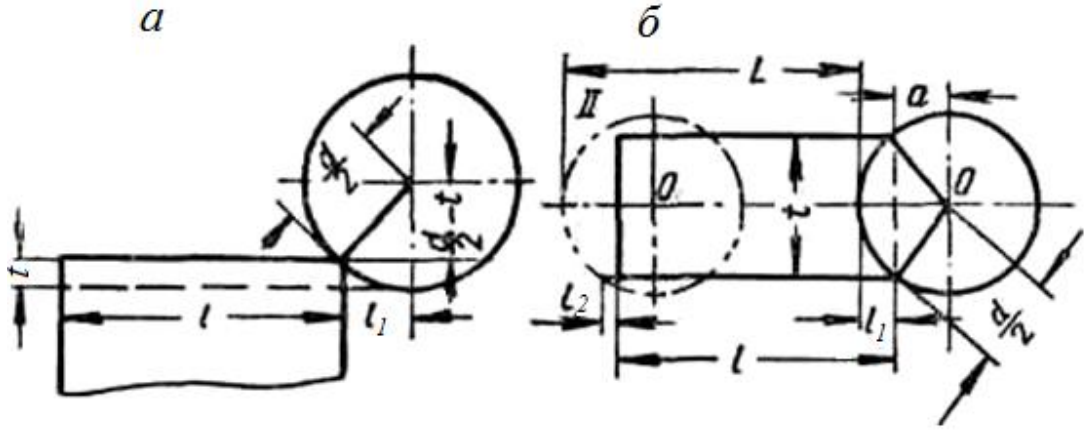


Рис. 5.9. Величины врезания при фрезеровании:
а – цилиндрической фрезой; *б* – торцевой фрезой

При фрезеровании цилиндрическими фасонными фрезами, а также концевыми и дисковыми фрезами (рис. 5.9, *а*) величины врезания и перебега определяются, мм

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)} + (0{,}5 \div 3); \quad l_2 = (1 \div 5).$$

При симметричном фрезеровании торцевыми и концевыми фрезами (см. рис. 5.9, *б*), мм:

$$l_1 = 0{,}5\,(D_ф - \sqrt{t\left(D_ф - B\right)} + (0{,}5 \div 3{,}5); \; l_2 = (1 \div 6).$$

Величины врезания и перебега, а также рекомендуемые скорости резания и подачи приведены в справочной литературе.

5.4. Силы резания при фрезеровании

Для осуществления процесса фрезерования необходима мощность N_v,

$$N_v = \frac{Mn}{975},$$

где M – крутящий момент на шпинделе станка от сил сопротивлению резания; n – частота вращения фрезы.

В процессе фрезерования на фрезу действуют сила сопротивления резанию, которую можно разложить на три составляющие: радиальную P_y, окружную P_z и осевую P_x (рис. 5.10).

Крутящий момент относительно оси фрезы составляет только сила P_z, следовательно

$$M = \frac{P_z D_\Phi}{2},$$

где D – диаметр фрезы.

Векторная сумма P_y и P_z составляющих лежит в торцевой плоскости фрезы и может быть разложена на вертикальную P_v и горизонтальную P_s составляющие. P_v стремится оторвать заготовку (прижать) от стола, а сила P_s определяет мощность, необходимую на перемещение стола.

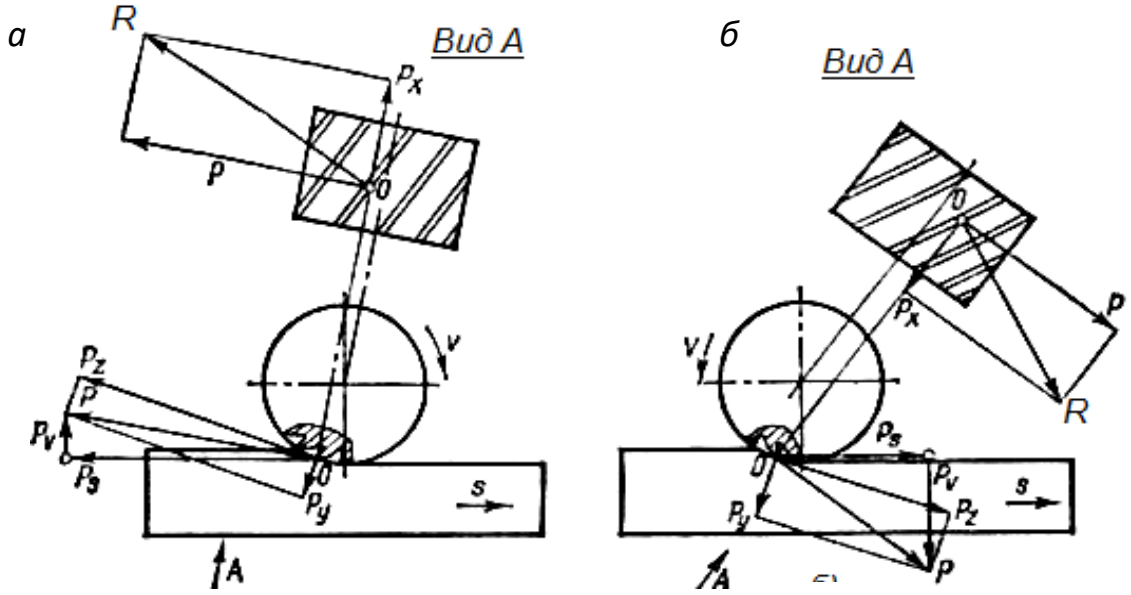


Рис. 5.10. Силы резания:
а – при встречном фрезеровании; *б* – попутном фрезеровании

Сила P_s совпадает с направлением подачи S и называется ***усилием подачи***. Сила P_v называется ***вертикальной силой.***

Для определения составляющей силы резанияR используют окружную силу P_z, а другие составляющие определяют в ее долях. Силу P_z находят по эмпирической формуле

$$P_z = \frac{9{,}85 C_p t^x s^y B^u z^r}{D^q n^w} k_\rho,$$

где t – глубина резания, мм; s – подача на зуб, мм/зуб; B – ширина фрезерования, мм; z – число зубьев фрезы; D – диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин; x, y, u, r, q. w – показатели степени, приведенные в справочниках; C_p – постоянная, учитывающая условия эксперимента, не вошедшие в формулу в явном виде (находится в справочниках); k_p – коэффициент, учитывающий отличие конкретных условий работы от экспериментальных при выводе данной формулы

$$P_y = (0{,}3 – 0{,}4)\ P_z;\ P_S = (1 – 1{,}2)\ P_z;\ P_v = (0 – 0{,}2)\ P_z.$$

Чтобы нейтрализовать действие осевого усилия при работе фрезой с винтовыми зубьями, применяют сдвоенные фрезы с правым и левым наклоном зубьев.

5.5. Фрезерные станки

На станках фрезерной группы выполняются различные операции по обработке плоскостей, пазов и фасонных поверхностей с линейной образующей.

Горизонтально-фрезерные станки предназначаются для выполнения разнообразных фрезерных работ. Шпиндель этих станков расположен горизонтально и сообщает вращение фрезе. Обрабатываемая деталь, закрепленная на столе, совершает подачу в продольном направлении.

Универсально-фрезерные станки отличаются от горизонтальных тем, что у них стол может поворачиваться вокруг вертикальной оси (в ограниченных пределах).

Вертикально-фрезерные станки имеют шпиндель, расположенный вертикально; в некоторых моделях этих станков шпиндель может устанавливаться наклонно путем поворота вокруг горизонтальной оси. Общий вид станка представлен на рис. 5.11. На фундаментной плите *1* установлена станина *2*. Вертикальный шпиндель *3* получает вращение от электродвигателя *4* через коробку скоростей *5*.

Станок имеет кронштейн *6*, нижний (поперечный) стол *7*, верхний (продольный) стол *8*. Электродвигатель *9* и коробка подач раз-

мещены в кронштейне станка. Рукоятки P_7 и P_8 переключают зубчатые колеса в коробке скоростей, маховичок P_3 служит для настройки коробки подач. Движениями стола управляют при помощи рукояток от P_5 до P_9.

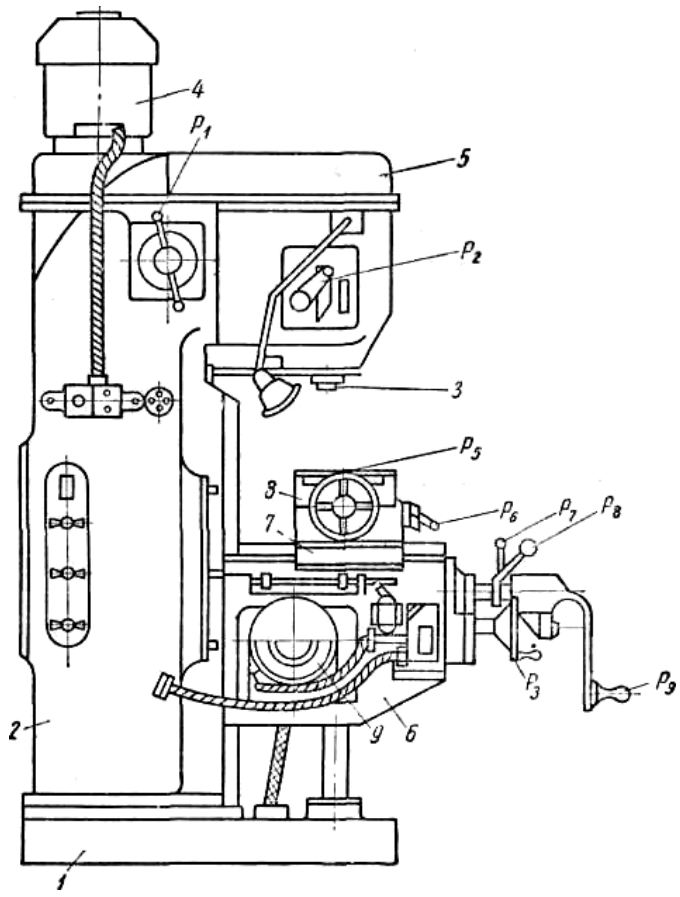


Рис. 5.11. Общий вид вертикально-фрезерного станка:
1 – фундаментная плита; *2* – станина; *3* – шпиндель; *4* – электродвигатель; 5 – коробка скоростей; *6* – кронштейн; *7* – нижний (поперечный) стол; *8* – верхний (продольный) стол; *9* – электродвигатель и коробка подач

Продольно-фрезерные станки бывают одно- двух-, трех- и четырехшпиндельные; в последних двух случаях один или два шпинделя вертикальные, два других – горизонтальные

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Особенности процесса резания при фрезеровании.
2. Что относится к элементам режима резания при фрезеровании?
3. Для чего необходимо знание составляющих силы резания при фрезеровании?
4. Встречное и попутное фрезерование, достоинства и недостатки этих методов.
5. Типы фрез (не менее пяти) и область их применения.
6. Конструктивные особенности режущих элементов фрез.
7. Назовите типы фрезерных станков общего назначения.

8. В чем различие методов простого деления, комбинированного и дифференциального деления на различных делительных операциях при фрезеровании.

9. Какие приспособления используют для закрепления заготовки и инструмента на фрезерных станках? Расскажите, по каким поверхностям затачивают фрезы.

6. ОБРАБОТКА СТРОГАНИЕМ, ДОЛБЛЕНИЕМ И ПРОТЯГИВАНИЕМ

Строганием и долблением производят обработку, главным образом, плоских поверхностей, а также различных пазов и канавок в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

Движение резания поступательно-возвратное состоит из рабочего и холостого хода, движение подачи прерывистое, совершается в конце холостого хода.

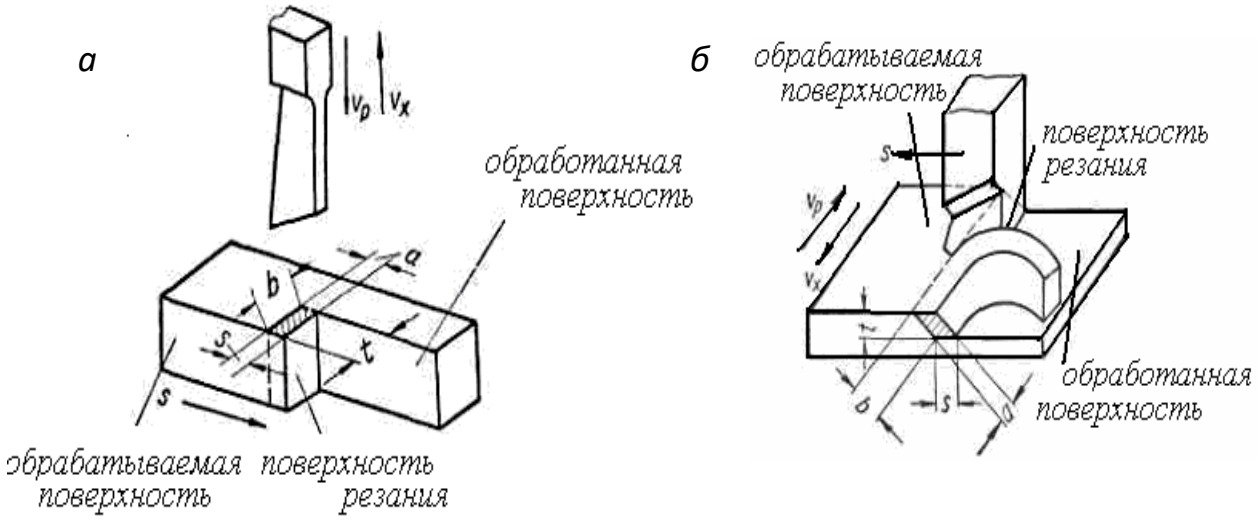


Рис. 6.1. Схемы процесса резания:
а – схема процесса долбления; *б* – схема процесса строгания на продольно-строгальном станке

Строгание производят на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках.

При работе на продольно-строгальных станках поступательно-возвратное движение совершает обрабатываемая деталь, а резец получает периодическую подачу в поперечном направлении (рис. 6.1, *б*).

При работе на поперечно-строгальных станках поступательно-возвратное движение совершает резец, а обрабатываемая деталь получает движение периодической поперечной подачи.

При долблении (рис. 6.1, *а*) резец получает поступательно-возвратное движение в вертикальном направлении, а обрабатываемая деталь – периодическую подачу в одном из трех направлений: продольном, поперечном или круговом.

Особенности процесса резания при строгании и долблении

Работа строгального и долбежного резцов имеет характер прерывистого резания. Врезание в заготовку в начале каждого рабочего хода сопровождается ударами. Во время холостого хода резец остывает. Нестабильный тепловой режим, при котором инструмент претерпевает циклический нагрев и охлаждение, существенно ухудшает условия его работы, приводит к усталостным явлениям, снижает его стойкость по сравнению с токарными резцами. Циклические ударные нагрузки накладывают определенные ограничения на выбор скорости резания. Наличие возвратно-поступательного движения, а также большие перемещающиеся массы и большие инерционные усилия при реверсировании движения ограничивают возможности применения больших скоростей резания.

6.1. Строгальные и долбежные резцы. Элементы резания при строгании и долблении

Элементы строгальных и долбежных резцов представлены на рис. 6.2, *а* и *б*. Геометрия строгальных и долбежных резцов аналогична геометрии токарных.

Строгальные резцы для обработки поверхностей твердых отливок, как правило, делают с изогнутым стержнем, чтобы при встрече с твердыми шлаковыми включениями в корке детали резец отгибался и, описывая дугу окружности вокруг точки *а* (рис. 6.2, *в* и *г*), мог бы приподняться над обработанной поверхностью. Вследствие этого предотвращается порча обработанной поверхности и в то же время режущая кромка предохраняется от повреждения. В случае прямого резца (рис. 6.2, *в*) возможно повреждение обработанной поверхности.

Элементы резания (рис. 6.3). В процессе строгания и долбления поступательно-возвратное перемещение детали или резца является главным движением, а прерывистые (периодические) перемещения резца или детали в направлении, перпендикулярном к направлению движения, представляют собой подачу.

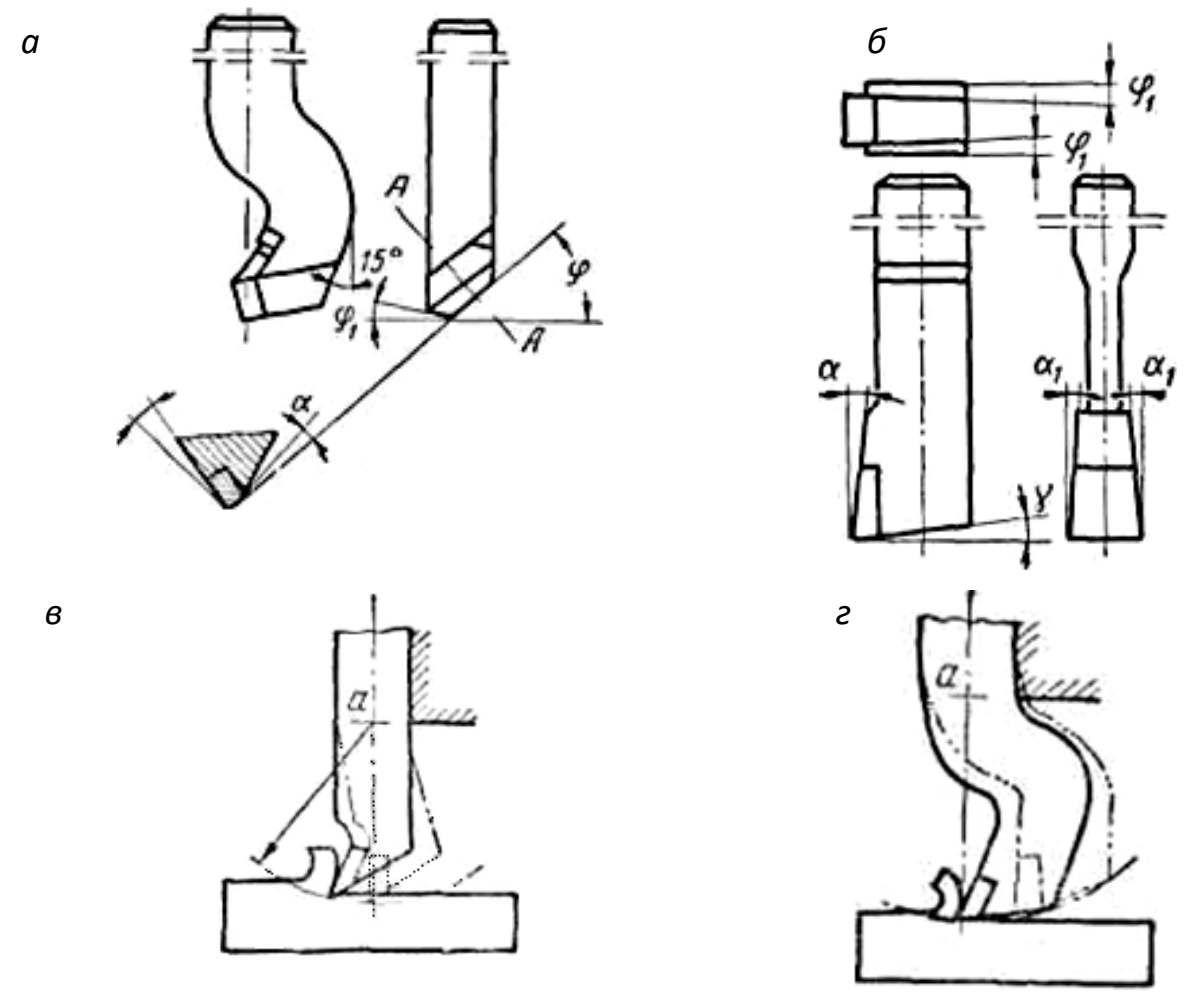


Рис. 6.2. Геометрические параметры резцов:
а и *б* – углы заточки строгального и долбежного резцов; *в* и *г* – схемы деформации строгальных резцов в процессе резания

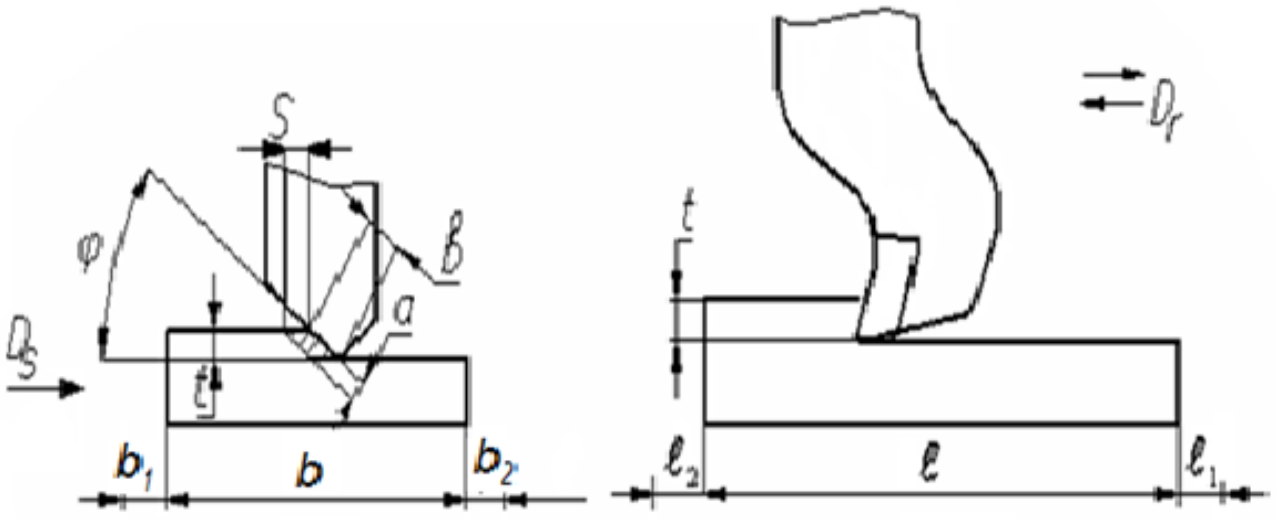


Рис. 6.3. Элементы режима резания при строгании

При работе на строгальных и долбежных станках резание осуществляется только во время рабочего хода. Во время обратного хода

резец не режет и успевает несколько остыть. В связи с этим принудительное охлаждение при строгальных и долбежных работах обычно не применяют.

В начале каждого рабочего хода врезание резца в обрабатываемый материал сопровождается ударом. Эти удары могут явиться причиной поломки резцов, поэтому строгальные резцы делают обычно большего сечения, чем токарные.

В общем случае скорость резания при строгании определяется по формуле

$$V_{\text{р.х.}} = \frac{nL}{1000}(1+m),$$

где $L = l + l_1 + l_2$ – длина хода резца, мм; l – длина поверхности строгания, мм; l_1 – перебег резца при холостом обратном ходе, мм; l_2 – перебег резца при рабочем ходе, мм; n – число двойных ходов резца или стола в минуту; m – отношение скорости рабочего хода $V_{\text{р.х}}$ к скорости холостого хода $V_{\text{х.х.}}$. При работе на поперечно-строгальных станках $(l_1 + l_2)$ – принимается равным 35÷75 мм.

При одинаковых скоростях рабочего и холостого ходов

$$V_{\text{р.х}} = V_{\text{х.х}} = \frac{2nL}{1000}, \quad \text{откуда} \quad n = \frac{500V}{L}.$$

Основное технологическое время при строгании и долблении определяется по формуле, мин.,

$$T = B/n\,S,$$

где B – расчетная ширина прохода резца, мм; S – подача за двойной ход, мм; n – число двойных ходов резца или стола, мин.;

$$B = b + b_1 + b_2,$$

где b – ширина детали, мм; b_1 – путь врезания; b_2 – путь перебега резца

$$b_1 = t \cdot \text{ctg}\varphi,\ b_2 = (2 – 10) \text{ мм}.$$

6.2. Станки строгальной группы

Станки строгальной группы подразделяются на следующие типы.

Поперечно-строгальные станки, служащие для обработки деталей с длиной строгания, обычно не превышающей 600 – 700 мм.

Продольно-строгальные станки, применяемые для обработки крупных деталей. Они бывают двух- и одностоечными; к их числу относятся также кромкострогальные станки для обработки кромок стальных листов и плит.

Долбежные станки, применяемые главным образом для изготовления шпоночных пазов в отверстиях, а также вообще для обработки внутренних и наружных поверхностей деталей.

Поперечно-строгальный станок. Общий вид поперечно-строгального станка (с наибольшей длиной хода ползуна 650 мм) показан на рис. 6.4. От электродвигателя движение через коробку скоростей и механизма качающейся кулисы, размещенные внутри станины *1*, передается ползуну *6* и столу *2*. На ползуне *6* закреплен суппорт *4* с откидным резцедержателем. Стол *2* по направляющим траверсы совершает движение периодической подачи при помощи храпового механизма.

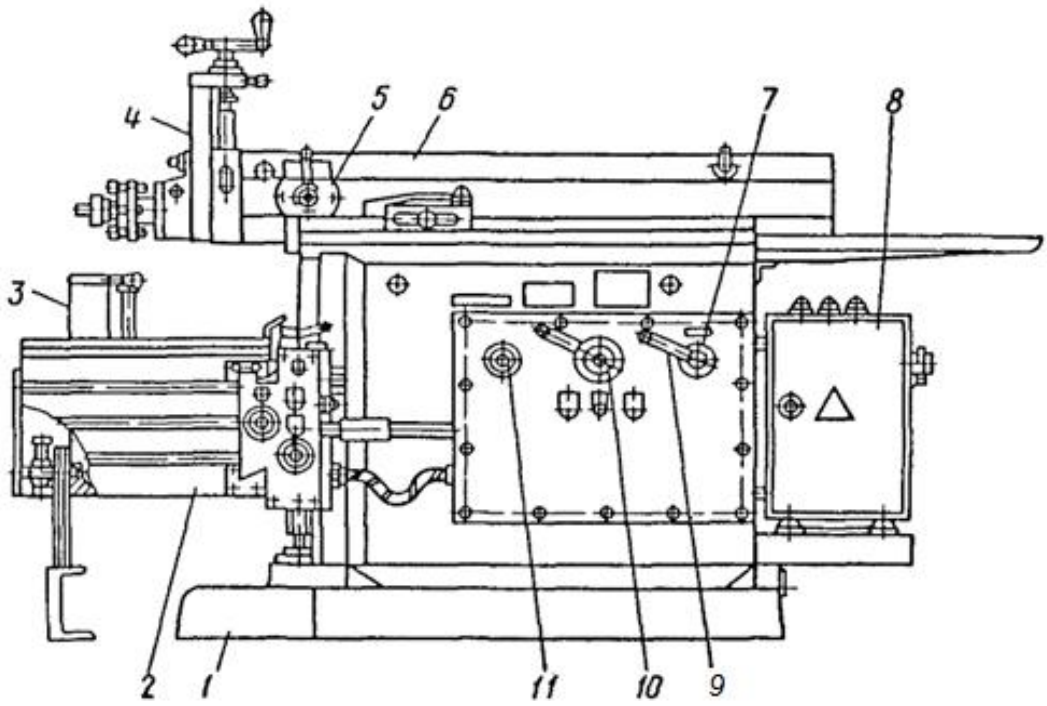


Рис. 6.4. Общий вид поперечно-строгального станка:
1 – станина; *2* – поперечина со столом; *3* – стружкосборник; *4* – суппорт;
5 – механизм вертикальной подачи; *6* – ползун; *7* – коробка скоростей;
8 – электрооборудование; *9* –механизм переключения скоростей;
10 – коробка подач; *11* – механизм кулисный

Подъем и опускание траверсы вместе со столом производятся путем вращения винта *3* (вручную). Суппорт *4* может перемещаться в вертикальном или наклонном направлении вручную P_t или автоматически.

Долбежный станок. Общий вид станка представлен на рис. 6.5. Обрабатываемая деталь может получать продольную, поперечную и круговую подачи. Для этого на основном столе станка, расположенном на горизонтальных направляющих станины, помещен другой вращающийся круглый стол с делительным механизмом. Резец за-

креплен в ползуне, установленном на вертикальных направляющих станины, и ему сообщается возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении.

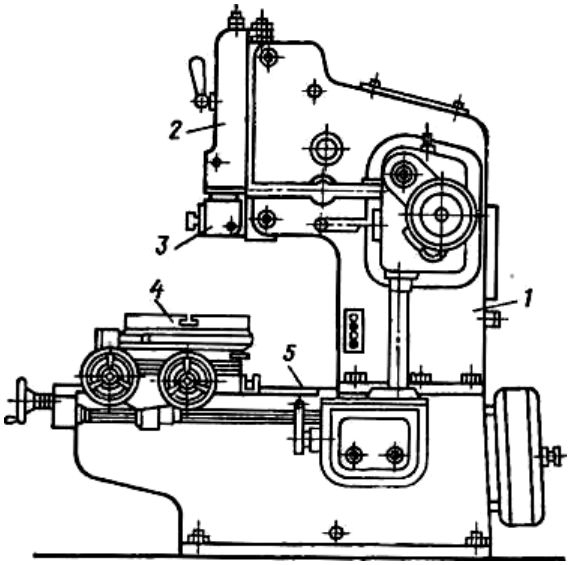


Рис. 6.5. Общий вид долбёжного станка:
1 – станина; *2* – ползун(долбяк); *3* – резцедержатель;*4* – круглый верхний стол; 5 – направляющие станины

В станине *1* расположены все механизмы станка. В ее вертикальных направляющих движется ползун *2*, совершающий вниз рабочий ход и вверх вспомогательный ход. В резцедержателе *3* крепят резец. Деталь устанавливают на столе *4*, перемещающемся по направляющим 5. Стол, кроме того, может вращаться.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. От каких параметров зависит скорость рабочего хода ползуна?
2. Почему скорость холостого хода ползуна выше скорости рабочего хода?
3. Какие недостатки присущи поперечно-строгальному станку с кривошипно-кулисным приводом ползуна?
4. Почему строгальный резец имеет изогнутую форму? Пояснить эскизом.
5. От чего зависит длина хода ползуна и как она регулируется?

6.3. Обработка на протяжных станках

6.3.1. Протягивание и схемы резания при протягивании внутренних наружных поверхностей

Протягивание – механическая обработка внутренних и наружных поверхностей с прямолинейной образующей с помощью многолезвийного режущего инструмента – протяжки. Главное движение

при протягивании – поступательное движение протяжки. Заготовка при прямолинейном протягивании неподвижна.

Протягивание – высокопроизводительный метод обработки поверхностей различной степени сложности. Особенно эффективно протягивание сложных и фасонных профилей заготовок. Протягивание заготовок находит широкое применение.

Протягиванием обрабатывают различные внутренние и наружные, а также полуоткрытые поверхности (рис. 6.6).

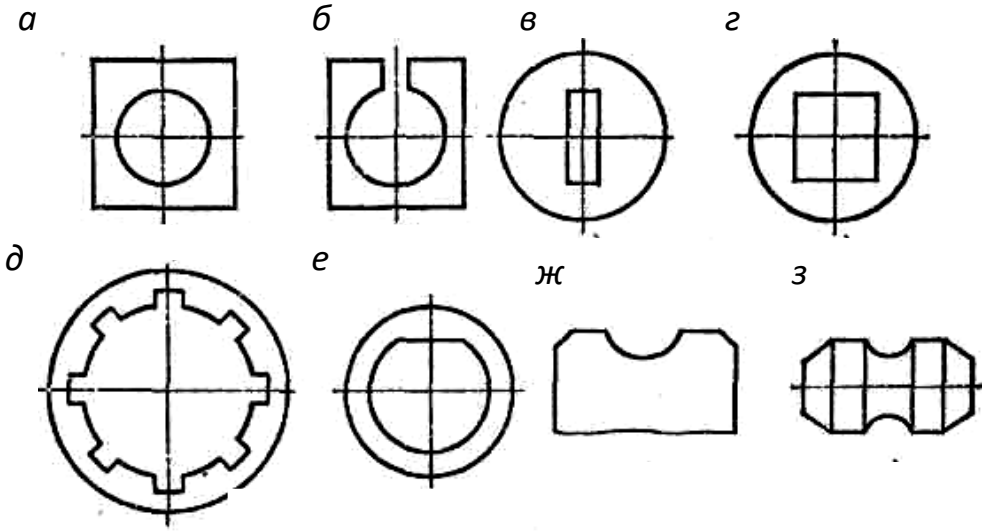


Рис. 6.6. Основные виды оорабатываемых поверхностей при протягивании:
а, б, в, г, д, е – внутренние поверхности; *ж, з* – наружные поверхности

При внутреннем свободном притягивании заготовки *2* (рис. 6.7, *а*), имеющие предварительно обработанное отверстие, базируют торцовой поверхностью на опорной плите *1* протяжного станка. Внутренняя протяжка имеет следующие составные части: хвостовик с замковой частью *8*, переходной конус *3*; переднюю направляющую *7* (для направления протяжки в начале ее работы по предварительно обработанному отверстию); режущую часть *6*, которая срезает основной закреплен в ползуне, установленном на вертикальных направляющих станины, и ему сообщается возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении.

Прошивку (рис. 6.7, *б*) устанавливают передней направляющей *4* в отверстие заготовки *5*, установленной на опорной плите *6* прошивочного станка. Прошивка имеет режущую *3* и калибрующую *2* части, а также заднюю направляющую *1*. Прошивки чаще всего применяют для калибрования внутренних отверстий высокой точности. Иногда последние секции прошивки или протяжки выполняют полукруглыми для развальцовки – сглаживания шероховатости и придания поверхности высоких эксплуатационных свойств.

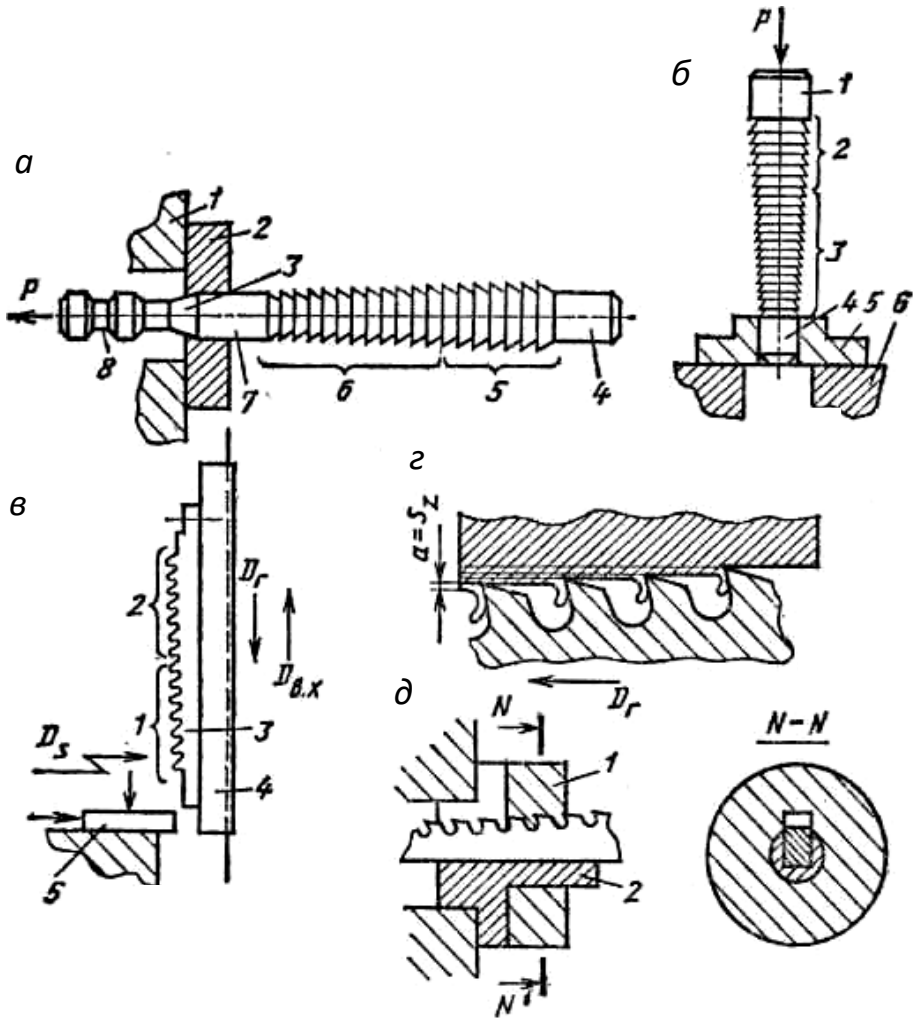


Рис. 6.7. Схемы обработки:
а – на горизонтально-протяжном станке; *б* – на прошивном станке;
в – на вертикально-протяжном станке; *г* – срезание припуска при протягивании;
д – шпоночного паза

Особенности протяжек, осуществляющих протягивание наружных поверхностей, заключаются в том, что они не имеют ни передних, ни задних направляющих. Наружная протяжка *3* (рис. 6.7, *в*), жестко закрепленная на каретке *4* протяжного станка, имеет также режущую *1* и калибрующую *2* части. Заготовка *5*, жестко закрепленная на столе станка, отводится по окончании цикла обработки и снимается со станка. Схема срезания припуска при протягивании приведена на рис. 6.7, *г*. На рис. 6.7, *д* показана схема протягивания шпоночного паза заготовки *1*, установленной на оправке *2*.

При протягивании применяют профильную, генераторную и прогрессивную схемы срезания припуска (рис. 6.8). При профильной (рис. 6.8, *а*) схеме срезания припуска геометрическая форма всех зубьев подобна профилю окончательно обработанной поверхности

заготовки. Вписанный контур соответствует форме первого зуба, а описанный – форме последнего зуба протяжки.

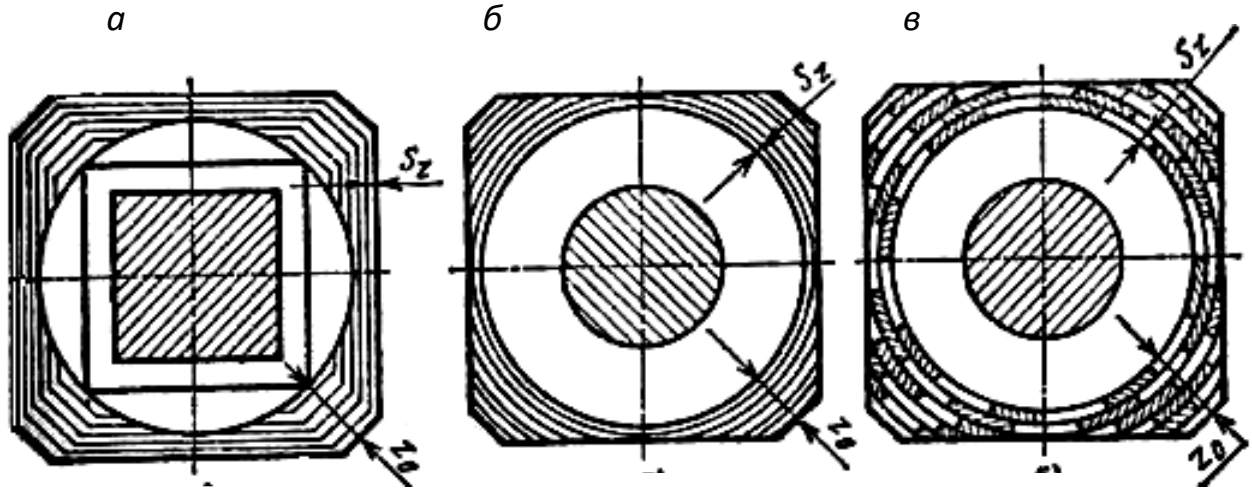


Рис. 6.8. Схемы резания при протягивании:
а – профильная; *б* – генераторная схема; *в* – прогрессивная

Такая схема резания имеет ограниченное применение вследствие трудности изготовления профильных протяжек. По профильной схеме работают протяжки круглого профиля, а также наружные протяжки, обеспечивающие высокое качество обработанной поверхности.

При генераторной схеме срезания припуска первый зуб протяжки имеет круглую форму, все последующие зубья имеют также круглую форму в виде частей окружности – дуг (рис. 6.8, *б*). Протяжки, работающие по генераторной схеме, более просты в изготовлении, их проще затачивать повторно и себестоимость их изготовления ниже, чем протяжек, работающих по профильной схеме. Квадратные, многогранные, координатные протяжки для срезания припуска изготовляют по генераторной схеме.

Если невозможно резание по генераторной схеме (сила резания первыми тремя зубьями превышает предельно допустимую силу разрыва опасного сечения или припуск на зуб менее 0,02 мм – когда резание становится неэффективным), применяют прогрессивную схему резания (рис. 6.8, *в*). Эта схема предусматривает разделение срезаемого слоя на несколько слоев с большим припуском на зуб. У протяжки, работающей по этой схеме, режущие зубья разделены на группы (два, три и т. д.), имеющие одинаковый наружный размер. При этом срезаются узкие стружки. Стойкость такой протяжки в среднем в 2 раза выше, чем протяжки, работающей по генераторной схеме резания.

Протяжки, работающие по прогрессивной схеме, более сложны в изготовлении, чем протяжки, работающие по профильной или генераторной схеме.

В качестве СОТС при протягивании используют эмульсии, сульфофрезол, а также смесь керосина и масла. Обработка чугунных заготовок производится без охлаждения.

6.3.2. Элементы режима резания при протягивании

Определение режимов резания при протягивании сводится к назначению скорости резания, так как толщина a и ширина b срезаемого слоя обусловлены конструктивными особенностями протяжки.

Скорость резания при протягивании – скорость относительного перемещения протяжки и заготовки в главном рабочем движении. Скорость резания выбирают, исходя из требования к качественным параметрам обрабатываемой поверхности. Обычно V = 3÷20 м/мин или V = 0,05÷0,4 м/с. При конструировании протяжки задается S_z = 0,015÷0,08 мм/зуб – при профильной схеме срезания припуска и S_z = 0,15÷0,35 мм/зуб – при прогрессивной схеме резания, в зависимости от обрабатываемого материала. Ширина срезаемого слоя b измеряется вдоль режущей кромки. У шпоночной протяжки – это ширина паза, у протяжек других видов ширина равна длине активной части режущей кромки. У круглых протяжек ширина резания равна длине окружности.

Основное время (мин) при протягивании выбирают за один цикл протягивания:

$$T_o = \frac{L_{р.х.}}{1000Vq}k,$$

где L – длина рабочего хода протяжки, мм; k = 1,2÷1,5 – коэффициент, учитывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода протяжки; V – скорость резания, м/мин; q – число одновременно обрабатываемых заготовок.

Длина рабочего хода $L = l_р + l_З + l_д + l_{доп}$; где $l_р$ – длина рабочей части протяжки; $l_з$ – длина задней направляющей; $l_д$ – длина протягиваемой поверхности; $l_{доп}$ = 30÷50 мм – суммарная длина на вход и перебег протяжки.

6.3.3. Сила резания при протягивании

Для расчета протяжек на прочность и для определения мощности привода станка необходимо знать силу резания при протягивании. Она определяется по формуле

$$P_z = F_y \cdot \Sigma b,$$

где F_y – сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки зуба (удельная сила резания); Σb – суммарная длина режущих кромок, одновременно участвующих в резании, определяется по формулам:

– для цилиндрических отверстий – $\Sigma b = \pi d z_i$;

– шлицевых отверстий и шпоночных пазов – $\Sigma b = b_i n z_i$,

где d – наибольший диаметр протяжки; z_i – наибольшее число одновременно работающих зубьев; b_i – ширина шлица или шпонки; n – число шлицев или шпоночных пазов.

Внутренние протяжки рассчитываются по напряжению на разрыв по опасному сечению хвостовика и стружечной канавки перед первым режущим зубом:

$$\sigma = \frac{P_z}{F},$$

где F – площадь наименьшего сечения протяжки, м^2.

Эффективная мощность (Вт) резания при протягивании

$$N_э = P_z V,$$

где P_z, V – сила и скорость резания при протягивании.

$$V = \frac{C_v}{T^m S_z^y},$$

где C_v – коэффициент, характеризующий условия резания; T – стойкость инструмента, мин; S_z – подача на зуб, мм. Значения C_v и показателей степеней m и y приведены в справочной литературе.

6.3.4. Типы протяжек, их конструктивные элементы и геометрические параметры

Принципиальное отличие протягивания от других видов механической обработки заключается в том, что при протягивании отсутствует движение подачи D_s. Значение подачи при протягивании заложено в конструкции инструмента. Размер каждого последующего режущего элемента протяжки больше предыдущего на величину, численно равную S_z – подаче на зуб. Каждый зуб протяжки в отличие от зуба фрезы только один раз участвует в обработке данной заготовки;

так как суммарное число зубьев, участвующих в резании, велико, то в работе одновременно находится несколько зубьев (три – шесть).

Существуют протяжки нескольких типов. Круглые протяжки предназначаются для обработки внутренних цилиндрических поверхностей (см. рис. 6.7, *а,* 6.9).

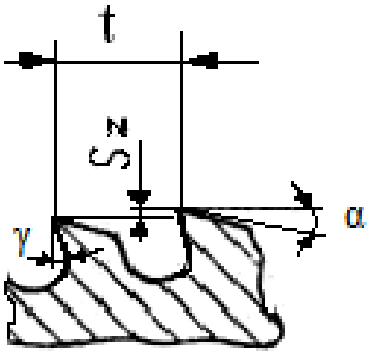


Рис. 6.9. Геометрические параметры зубьев протяжки

Шлицевые протяжки применяют для обработки прямых и винтовых шлицевых канавок. Канавки изготовляют прямыми и эвольвентного профиля.

Шпоночные протяжки применяют для обработки шпоночных пазов. Обработка заготовки *1* шпоночной протяжкой производится с помощью специального приспособления – оправки *2* (см. рис. 6.7, *д*).

Многогранные протяжки применяют для обработки граненых отверстий с любым числом сторон. Многогранные протяжки работают по генераторной схеме резания.

Плоские протяжки предназначаются для обработки плоских поверхностей (см. рис. 6.7, *в*). Они работают по профильной и прогрессивной схемам резания.

Протяжки являются сложным по конструкции и дорогим инструментом, в связи с чем они должны иметь максимально возможную стойкость. У шпоночных протяжек из быстрорежущих сталей стойкость $T > 120$ мин, у шлицевых $T > 420$ мин при обработке стальных заготовок. Для изготовления цельных протяжек применяют следующие быстрорежущие стали: Р6М5, Р9, Р9Ф5, Р9К5 и др. В некоторых случаях применяют для изготовления протяжек углеродистые и легированные стали (9ХС, ХВГ и др.). Стойкость протяжек из легированных сталей в 2 – 2,5 раза выше стойкости протяжек из быстрорежущих сталей.

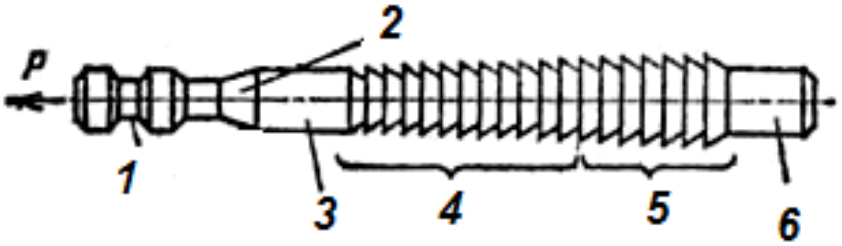


Рис. 6.10. Конструкция внутренней протяжки:
1 – хвостовик; *2* – переходный конус; *3* – передняя направляющая поверхность;
4 – режущая часть протяжки; *5* – калибрующая часть протяжки;
6 – задняя направляющая

Переходной конус внутренней протяжки *2* (рис. 6.10) служит для плавного входа протяжки в обрабатываемое отверстие. Его длина обычно равна 20 мм. Угол конуса 15 – 30°. Передняя направляющая *3* протяжки обеспечивает ее центрирование по предварительно обработанному отверстию и тем самым гарантирует правильный вход режущих зубьев протяжки в начальный период обработки. Диаметр или размер направляющей равен наименьшему диаметру или размеру предварительно обработанного отверстия. Задняя направляющая *6* необходима для правильного выхода последних зубьев протяжки из обрабатываемого отверстия (во избежание перекоса заготовки). Длина задней направляющей равна половине длины обрабатываемого отверстия.

Рабочая часть протяжки состоит из режущих *4* и калибрующих *5* зубьев. Иногда вместо калибрующих зубьев применяют выглаживающие. Число режущих зубьев

$$z_p = \frac{z_o}{S_z} + (2 \div 4),$$

где z_0 – припуск на обработку поверхности; S_z – подача на зуб.

Число калибрующих зубьев берут равным 3 – 8, в зависимости от точности обрабатываемой поверхности. Чем выше точность, тем больше число калибрующих зубьев. Точность поверхностей, обрабатываемых протягиванием, соответствует 6 – 7-му квалитету.

Передний угол γ выбирают для режущих и калибрующих зубьев $\gamma = 5 \div 10°$. Задний угол α у протяжек выбирают, исходя из условия сохранения размеров при повторных заточках. Для внутренних протяжек для режущих зубьев $\alpha = 2 \div 4°$, а для калибрующих $\alpha = 1 \div 30'$. Для наружных протяжек $\alpha = 7 \div 10°$ для режущих зубьев, а для калибрующих $\alpha = 3 \div 4°$.

Подачу на зуб S_z при конструировании протяжек выбирают, исходя из конкретных условий; она зависит от обрабатываемого материала.

Для уменьшения износа и улучшения условий срезания припуска $S_z >> 0{,}02$ мм. Для сталей $S_z = 0{,}07 \div 0{,}15$ мм; для чугуна $S_z = 0{,}1 \div 0{,}2$ мм; для бронз, латуни $S_z = 0{,}2$ мм; для алюминия $S_z = 0{,}1$ мм.

6.3.5. Протяжные станки. Основные параметры

Протяжные станки подразделяют на несколько основных типов:

- *по степени универсальности* – станки общего назначения и специальные;
- *назначению* – станки для внутреннего и наружного протягивания;
- *направлению главного движения и степени автоматизации* – станки с вертикальным и горизонтальным главным движением и станки непрерывного действия.

Основными характеристиками протяжного станка являются наибольшая тяговая сила, длина хода штока и диапазон скоростей протягивания. Современные протяжные станки создают усилие $3 \cdot 10^4 \div 10^5$ Н. Диапазон скоростей протягивания на протяжных станках 0,3÷20 м/мин.

На протяжных станках главное движение чаще совершает протяжка, а заготовка установлена неподвижно (см. рис. 6.6), подача обеспечивается конструкцией протяжного инструмента.

Горизонтально-протяжные станки

Горизонтально-протяжные станки применяют в основном для обработки внутренних поверхностей, их тяговая сила составляет 30÷100 000 Н, скорость рабочего хода 0,3÷20 м/мин. Длина хода каретки 1000 – 2000 мм. Горизонтально-протяжной станок (рис. 6.11) состоит из станины *1* коробчатой формы, гидронасоса *2*, гидроцилиндра *3*, каретки *4*, несущей шток, и замкового приспособления. Каретка перемещается по горизонтальным направляющим *7*.

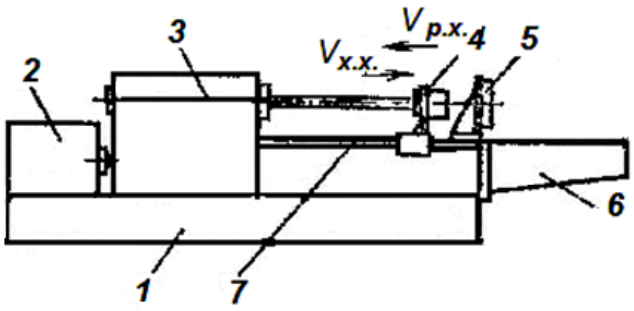


Рис. 6.11. Горизонтально-протяжной станок:
1 – станина; *2* – гидронасос;
3 – гидроцилиндр; *4* – каретка;
5 – опорная плита; *6* – корыто;
7 – направляющие

Для установки заготовки служит опорная плита *5*. Для фиксирования тяжелых протяжек устанавливают иногда дополнительный люнет на направляющие корыта *6*. Люнет удерживает задний хвостовик протяжки во время протягивания, предохраняя ее от провисания. Корыто служит также для приема стружки, отработанной СОЖ и мелких заготовок.

Протягивание осуществляется следующим образом. Обрабатываемую заготовку устанавливают на опорную плиту *5* станка и протяжку, вставленную в предварительно обработанное отверстие заготовки, закрепляют в тяговом патроне каретки *4*. В процессе протягивания шток гидроцилиндра перемещается вместе с кареткой и протяжкой в левое положение, осуществляя рабочий ход протяжки. После снятия заготовки каретка возвращается в исходное положение, и на этом рабочий цикл станка заканчивается.

Вертикально-протяжные станки

Вертикально-протяжные станки (рис. 6.12) более удобны в обслуживании, обработка на них легче поддается механизации и автоматизации. Эти станки *используют для внутреннего и наружного протягивания легких и средних заготовок*. Тяговая сила, развиваемая вертикально-протяжными станками, 50000 – 200000 Н. Скорость рабочего хода 0,5 – 15 м/мин, длина хода каретки 600 – 1600 мм.

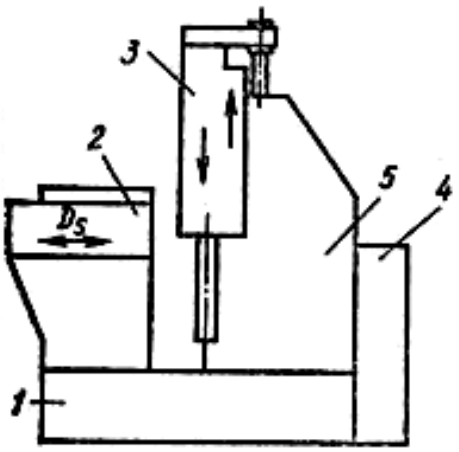


Рис. 6.12. Вертикально-протяжной станок:
1 – основание; *2* – горизонтальный стол; *3* – ползун;
4 – гидронасосная станция; *5* – станина

Вертикально-протяжные станки широко применяют в настоящее время и для внутреннего протягивания. Рабочий цикл станка для обработки внутренних поверхностей тот же, что и для наружного протягивания. При внутреннем протягивании протяжка захватывается патроном после подачи ее через отверстие заготовки. Подача протяжки осуществляется дополнительной вспомогательной кареткой, которая после зажима протяжки патроном рабочей каретки останавливается.

Кроме рассмотренных протяжных станков, в крупносерийном и массовом производстве находят применение многопозиционные станки (два и более суппорта), а также станки непрерывной обработки.

Протяжные станки непрерывной обработки

Протяжные станки непрерывной обработки обладают очень высокой производительностью. Заготовки *2* (рис. 6.13) устанавливают в специальных приспособлениях на бесконечной тяговой ленте *1*, которая сообщает им главное поступательное движение со скоростью резания. Протяжка *3* неподвижно закреплена в процессе обработки. Заготовки в процессе обработки силами резания прижимаются к неподвижной подкладке *4*.

На протяжных станках непрерывной обработки карусельного типа заготовки устанавливают на круглом вращающемся столе.

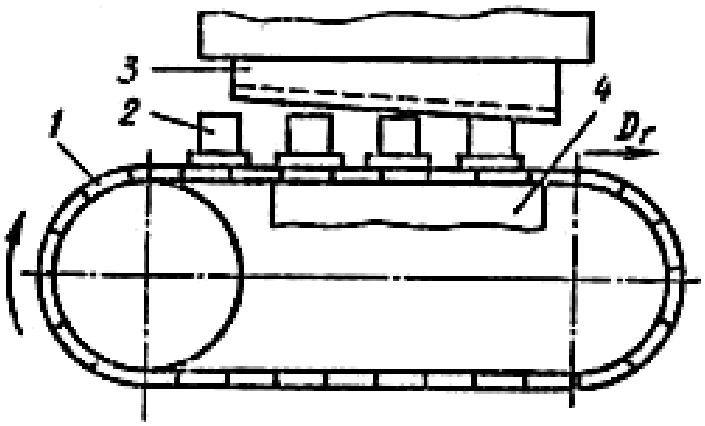


Рис. 6.13. Схема обработки на протяжном станке непрерывной обработки:
1 – бесконечная тяговая лента; *2* – заготовки; *3* – протяжка;
4 – неподвижная подкладка

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем различие схем срезания припуска при протягивании?
2. Что относят к элементам режима резания при протягивании?
3. Назовите область применения протягивания и наиболее распространенные поверхности, обрабатываемые протяжным инструментом.
4. Назовите основные типы протяжных станков и область их применения.
5. В чем отличие протяжных станков непрерывной обработки от горизонтально- и вертикально-протяжных станков?

7. ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХСТАНКАХ

7.1. Особенности процесса шлифования. Абразивный инструмент

Шлифование является одним из производительных методов обработки различных поверхностей. Обработка осуществляется абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, сегменты, шкурки и т. п.), абразивные зерна которых являются режущими элементами. Зерна в инструменте закреплены связующим компонентом – связкой с обязательным наличием пор (рис. 7.1).

Особенностью шлифования является **одновременное микрорезание несколькими зернами,** каждое из которых имеет два-три режущих лезвия и более, у каждого режущего лезвия свои угловые параметры. **Передний угол γ** у режущих лезвий зерен часто бывает **отрицательный**. Радиус округления режущих кромок абразивных зерен **близок к нулю**, поэтому в совокупности абразивные зерна на поверхности круга способны срезать тончайшие слои с обрабатываемой заготовки (несколько микрометров), в отличие от лезвийного инструмента, радиус при вершине «клина» которых составляет от нескольких десятков до нескольких сотен микрометров.

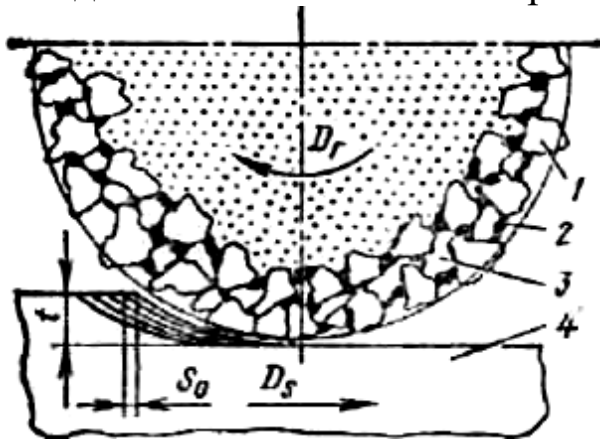


Рис. 7.1. Схема срезания припуска при шлифовании и конструктивные особенности абразивного инструмента: *1* – зерна; *2* – связка; *3* – поры; *4* – заготовка

Зерна, закрепленные связкой в инструменте, находятся на различном уровне; чем меньше толщина срезаемого слоя, тем меньше зерен участвует в резании. Чем больше зерен участвует в резании, тем меньше шероховатость обработанной поверхности. Абразивный инструмент, как и любой лезвийный инструмент, нуждается в периодической заточке (правке) по мере затупления режущих элементов. Так как скорость резания при шлифовании во много раз превышает скорость резания при лезвийной обработке, и, ввиду геометрических особенностей режущих элементов абразивного инструмента, снятие припуска происходит с **большим выделением теплоты (1000÷1500 °С).** Это оказывает влияние на физико-химические и эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности. Во избежание или для уменьшения влияния высокой температуры и силовых факторов необходимы **обильное охлаждение** (СОТС), оптимальные характеристики круга, шлифования, правящий инструмент и режимы правки.

7.2. Схемы обработки при шлифовании

В современном машиностроении шлифованию подвергают различные поверхности деталей машин: плоские, цилиндрические, фасонные, внутренние, наружные и т. п. Наиболее часто обрабатывают поверхности деталей, имеющих ось вращения (валы, втулки, резьбы и др.), а также плоские поверхности (плоскости, уступы, пазы и др.).

Существуют различные схемы шлифования этих поверхностей. Для всех способов шлифования главным движением резания является вращательное движение шлифовального круга $D_г$, а движение подачи D_s совершает заготовка.

Обработка заготовок на круглошлифовальных станках. При наружном круглом шлифовании возвратно-поступательное продольное движение (рис. 7.2) подачи осуществляется столом с закрепленной

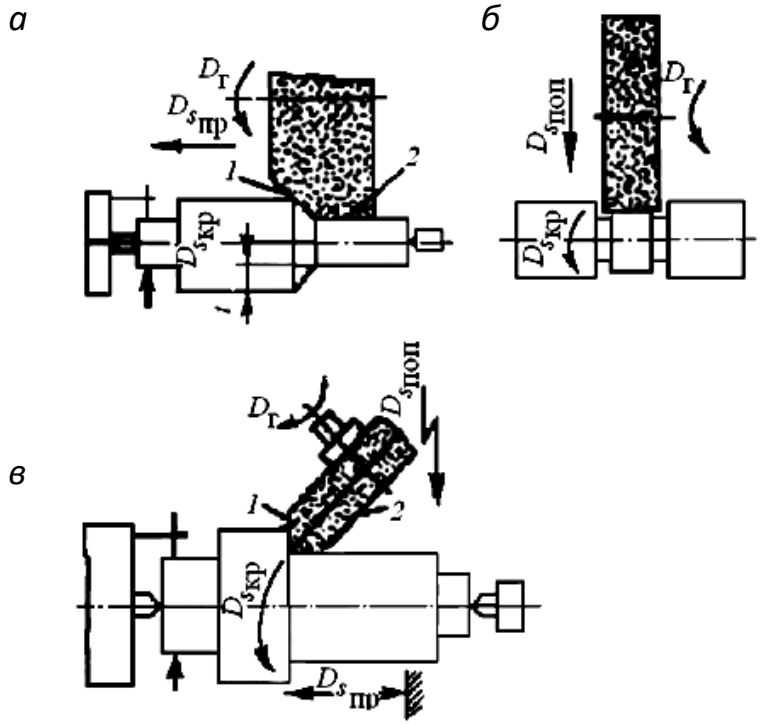


Рис. 7.2. Схемы наружного шлифования в центрах:
а – глубинное; *б* – врезное; *в* – шлифование двух взаимно перпендикулярных поверхностей

на нем заготовкой. Круговое движение подачи заготовки производится передней бабкой шлифовального станка, а поперечное движение подачи шлифовальным кругом осуществляется на каждый ход стола или двойной ход стола вне зоны обработки. Такой способ круглого шлифования называют ***осциллирующим шлифованием.***

В зависимости от направления поступательного движения подачи, различают еще несколько видов круглого шлифования: *глубинное; врезное* шлифование и шлифование *уступами* (рис. 7.2, *в*). Глубинное

шлифование может производиться по схеме с продольным движением подачи и врезным.

Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках. При плоском шлифовании периферией круга (рис. 7.3) обеспечивается наиболее высокая точность обработки, лучшие показатели качества обработанной поверхности. Возможна обработка заготовок малой жесткости.

Заготовки, обрабатываемые этим методом, устанавливают на плоском столе и закрепляют либо механически, либо, что чаще всего, на магнитной плите.

При плоском шлифовании возвратно-поступательное продольное движение подачи ($D_{пр}$) и прерывистое движение поперечной подачи ($D_{Sпоп}$) совершает заготовка или шлифовальный круг.

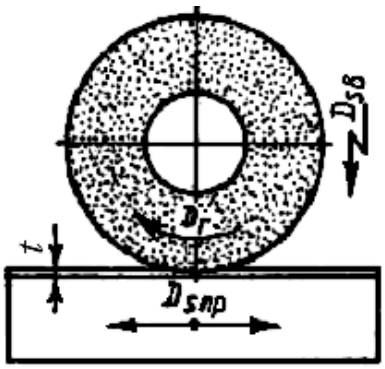


Рис. 7.3. Схема обработки заготовки на плоскошлифовальном станке периферией круга

Плоское шлифование периферией круга большой партии однотипных заготовок производится на плоскошлифовальных станках с круглым столом (рис. 7.4).

Плоское шлифование торцом круга (рис. 7.5) также может осуществляться на плоскошлифовальных станках, с прямоугольным и круглым столом. Но, в отличие от резания периферией круга, при торцовом шлифовании одновременно участвует в резании намного больше режущих элементов-зерен (большая площадь контакта). Поэтому при торцовом шлифовании выделяется существенно больше теплоты и возможны прижог и коробление тонких заготовок.

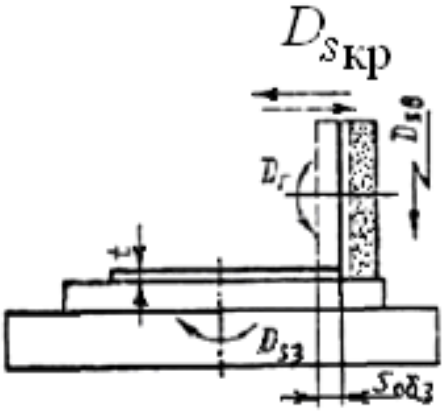


Рис. 7.4. Схема обработки заготовок периферией круга на плоскошлифовальном станке с круглым столом

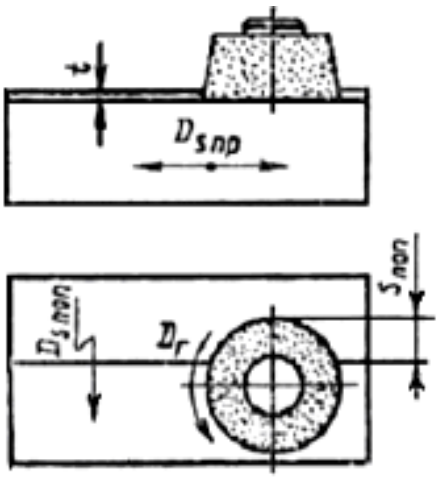


Рис. 7.5. Схема обработки на плоскошлифовальном станке торцом чашечного круга

Чтобы уменьшить выделение теплоты, часто используют сегментные торцовые круги с меньшей площадью контакта.

Способы установки и закрепления заготовок на плоскошлифовальных станках всех видов зависят от размеров, формы обрабатываемых заготовок, типа производства.

Закрепление заготовок на магнитной плите обеспечивает быстрый и надежный прижим заготовок, имеющих поверхность базирования.

Обработка заготовок на внутришлифовальных станках

Внутренним круглым шлифованием обрабатывают внутренние поверхности. Обработка производится следующими методами: шлифование с продольным движением подачи (рис. 7.6, *а, б*), врезное шлифование с поперечным движением подачи, врезное шлифование с дополнительной осцилляцией круга (рис. 7.6, *в*), шлифование с планетарным $D_{S\,пл}$ движением круга (рис. 7.6, *г*). При планетарном движении шпиндель с кругом, помимо главного движения, совершает еще вращательное относительно оси обрабатываемого отверстия. Метод применяют для шлифования отверстий в тяжелых корпусных заготовках.

Бесцентровое круглое наружное шлифование. Сущность бесцентрового шлифования заключается в том, что заготовка в процессе обработки не закрепляется в центрах и других зажимных приспособлениях, а базируется на опорном ноже станка и ведущем круге (рис. 7.7). Таким

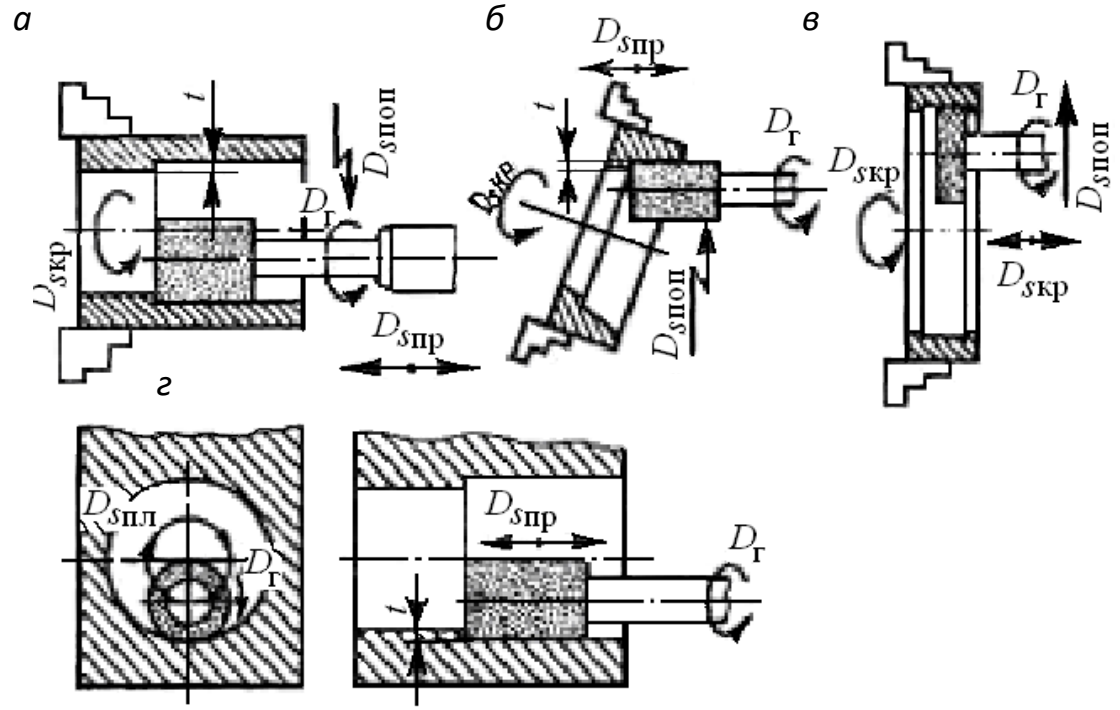


Рис. 7.6. Схемы обработки заготовок на внутришлифовальных станках:
а–в – шлифование в патроне; *г* – планетарное шлифование

образом, возможно шлифование большими партиями не только заготовок колец, гильз, но и заготовок, имеющих большую длину и малый диаметр. Обработка заготовки (заготовок) *2* заключается в следующем.

Шлифовальный *3* и ведущий *1* круги вращаются с разной частотой. Окружная скорость шлифовального круга в 50 – 60 раз выше окружной скорости ведущего круга. Конструктивно ведущий круг выполнен также, как шлифовальный, но на основе вязких, вулканитовых связующих веществ, обеспечивающих контакт с заготовкой практически без

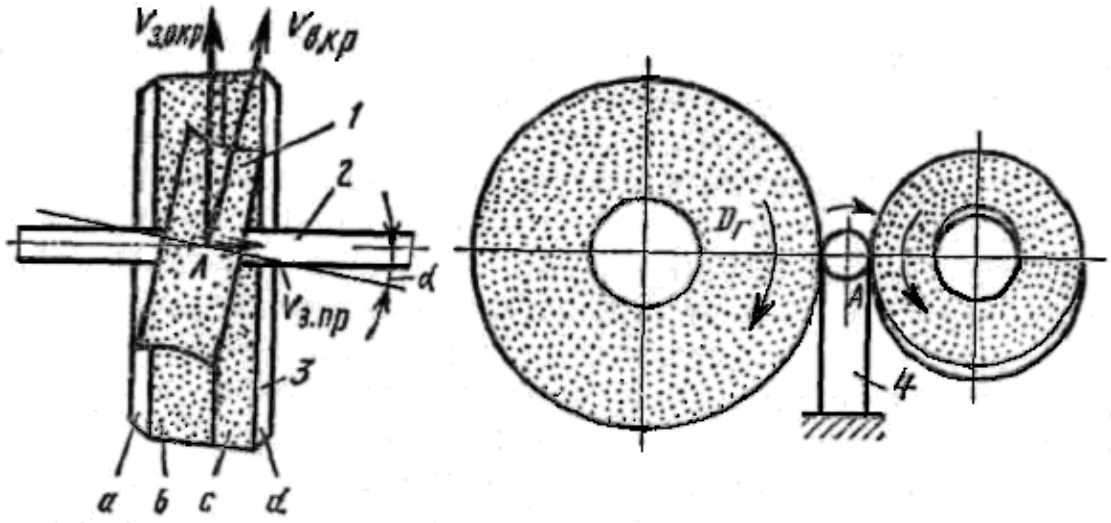


Рис. 7.7. Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке
1 – ведущий круг; *2* – заготовка; *3* – шлифовальный круг; 4 – опора

скольжения. В этом случае мгновенная окружная скорость в точке А (точка контакта) будет одинаковой для заготовки и ведущего круга.

Рассмотрим схему бесцентрового шлифования напроход (см. рис. 7.7). Для обеспечения перемещения заготовки вдоль оси шлифовального круга у ведущего круга предусмотрен наклон в вертикальной плоскости на 0 – 8° к оси шлифовального круга. Учитывая это, а также одинаковые окружные скорости ведущего круга и заготовки в месте контакта, разложим вектор угловой скорости ведущего круга на составляющие относительно заготовки: вертикальную – вектор угловой скорости заготовки и горизонтальную – вектор скорости перемещения заготовки вдоль своей оси. Меняя угол наклона ведущего круга α, можно изменять в значительной степени угловую скорость и скорость поступательного движения заготовки. При $\alpha = 0$ и $V_{з\,пр.} = 0$ происходит врезное шлифование.

Рабочая поверхность шлифовального круга состоит из четырех участков, каждый из которых выполняет свою функцию. ***а*** – участок входа заготовки, или заборный конус. Высота этого конуса 10 – 30 мм. Угол его наклона способствует беспрепятственному вхождению заготовок в зону резания с предельными значениями припуска. Основную часть круга по высоте занимает рабочий конус ***в***, который снимает припуск с заготовки и обеспечивает равномерность его съема. Цилиндрическая калибрующая зона ***с*** обеспечивает заданный параметр шероховатости поверхности после срезания основного припуска. Длина калибрующего участка не более 110 мм. Зона ***d*** имеет обратную конусность и служит для направления заготовок после обработки, длина этого конуса не превышает 20 – 30 мм.

7.3. Элементы режима резания при шлифовании

Элементы срезаемого слоя при шлифовании относятся не к единичным режущим зернам, а к их совокупности – режущей поверхности абразивного инструмента. Основными элементами режима резания при шлифовании являются: окружная скорость круга $V_{кр}$, окружная скорость (перемещения) заготовки $V_з$, глубина резания t, подача S. Элементы режима резания при плоском, круглом шлифовании показаны на рис. 7.2 – 7,5; а при внутреннем шлифовании – на рис. 7.6.

Скоростью резания (м/с) при шлифовании $V_{кр}$ называют линейную скорость на наибольшей окружности шлифовального круга

$$V_{кр} = \pi D \cdot n / 6 \cdot 10^4,$$

где n – частота вращения, мин$^{-1}$.

Скоростью перемещения заготовки при шлифовании называют: *при плоском шлифовании* – скорость перемещения стола, при *круглом шлифовании* – окружную скорость заготовки.

Поперечной подачей (при плоском шлифовании) и продольной подачей (при круглом и внутреннем шлифовании) *называют перемещение точки круга вдоль оси за один оборот, ход или двойной ход заготовки.* Поперечную подачу измеряют в долях высоты круга H; $S = k H$, где k – коэффициент определяющий долю высоты круга, приводится в справочных таблицах.

Глубиной резания при шлифовании *называют слой металла между обработанной и обрабатываемой поверхностью*, снимаемый *за один рабочий ход.*

В зависимости от различных технологических параметров качества заготовки, оборудования можно с помощью справочных данных назначить окружную скорость шлифовального круга, глубину срезаемого слоя, скорость движения подачи.

7.4. Силы резания при шлифовании

Снятие припуска с заготовки любым инструментом, в том числе абразивным, происходит под действием силы P, которая отделяет лишний слой материала в виде стружки. У лезвийных инструментов (резцов, сверл, фрез и т. п.) довольно просто представляется воздействие силы резания P или ее составляющих ввиду явно выраженных

режущих элементов, геометрических параметров инструментов, движений и т. п. У абразивного инструмента в силу конструктивных особенностей нет единой режущей кромки.

При некоторых видах шлифования (плоское, бесцентровое и др.) хотя и происходит отделение припуска со значительными силами резания, но эти силы не оказывают существенного влияния (при оптимальных режимах обработки) на параметры качества обработанной поверхности. При круглом наружном шлифовании знание сил резания (а точнее составляющих этих сил) имеет большое значение, так как они в значительной мере оказывают влияние на качественные, точностные и стойкостные показатели шлифования.

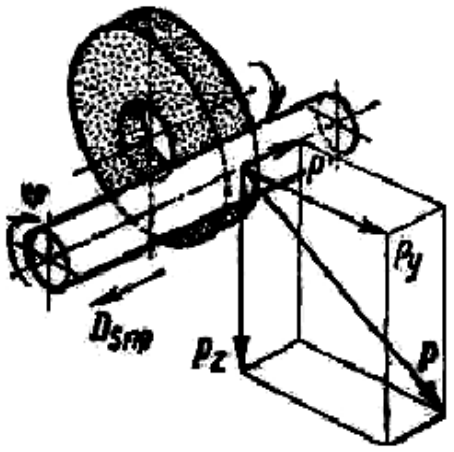


Рис. 7.8. Схемы составляющих силы резания при наружном круглом шлифовании в центрах

На рис. 7.8 приведена схема наружного круглого шлифования в центрах. Из рисунка следует, что сила резания относительно заготовки расположена в процессе шлифования под определенным углом.

Наибольшее влияние на качественные показатели обрабатываемой заготовки при круглом наружном шлифовании оказывает нормальная составляющая силы резания P_y – сила, препятствующая внедрению шлифовального круга (совокупности абразивных зерен) в заготовку и направленная перпендикулярно к режущей поверхности круга. Эту силу называют радиальной, если режущая поверхность цилиндрическая. Из рис. 7.8 также следует, что кроме нормальной составляющей силы резания на заготовку еще действует касательная составляющая силы резания P_z (обычно P_z в 1,5 – 2,5 раза меньше P_y) и осевая составляющая силы резания P_x = 0,5÷10 Н. В отдельных случаях силой резания можно активно управлять путем выбора оптимальных режимов резания, режимов правки, правящих инструментов, обильной подачи СОТС.

7.5. Конструкции абразивных инструментов

Абразивные инструменты имеют свои конструктивные особенности. Шлифовальные круги, бруски, сегменты, головки применяют для различных операций шлифования, хонингования, полирования и т. п. (рис. 7.9).

Абразивные материалы. Рабочими элементами любого абразивного инструмента являются классифицированные частицы абразивного материала, твердость которых выше твердости обрабатываемого материала. В качестве абразивного материала широко используются электрокорунды, карбид кремния, алмаз, кубический нитрид бора (эльбор). Алмазно-абразивной обработке подвергают самые различные поверхности и материалы. Наиболее широкое применение в машиностроении находят круги из электрокорунда и карбида кремния по ГОСТ 2424–83, алмазные круги по ГОСТ 1616–80, 16172–80Е и др., а также эльборовые круги по ГОСТ 17123–79Е.

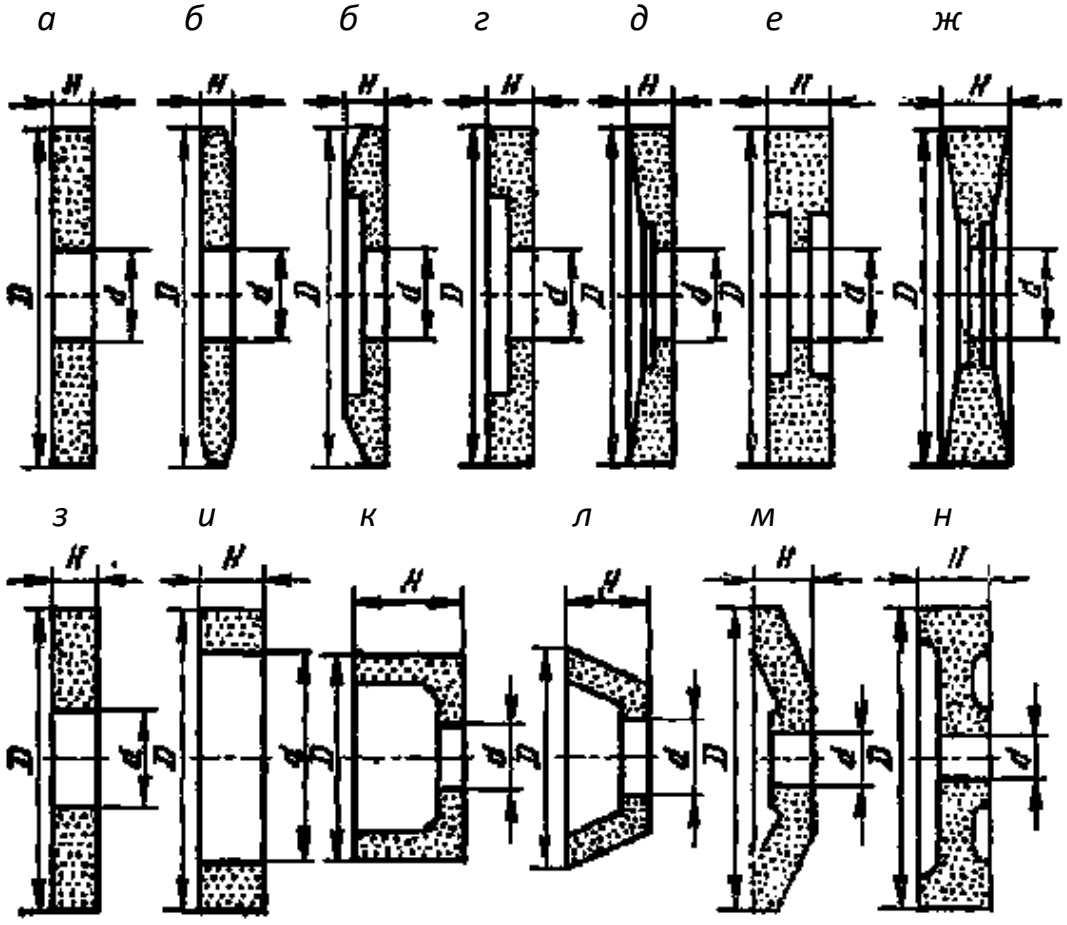


Рис. 7.9. Форма сечений шлифовальных кругов по ГОСТ 2424 – 75:
а – с прямым профилем (ПП); *б* – с двусторонним коническим профилем (2П); *в* – с коническим профилем (ЗП); *г* – с выточкой (ПВ); *д* – с конической выточкой (ПВК); *е* – с двусторонней выточкой (ПВД); *ж* – с двусторонней конической выточкой (ПВДК); *з* – специальный (ПН); *и* – кольцевой (К); *к* – чашечный

цилиндрический (ЧЦ); *л* – чашечный конический (ЧК); *м* – тарельчатый (Т); *н* – с двусторонней выточкой и ступицей (ПВДС)

Электрокорунды (кристаллическая окись алюминия $A1_2O_3$) получают из естественных бокситов с незначительными примесями некоторых материалов. По мере возрастания номера индекса растет процентное содержание окиси алюминия и увеличивается режущая способность. Легируя глинозем в процессе плавки титаном, цирконием, хромом, получают абразивные материалы с требуемыми свойствами.

Карбид кремния (карборунд) содержит 97 – 99 % SiC и незначительные примеси др. элементов. Выпускают две разновидности карбида кремния: черный (53С, 54С) и зеленый (62С, 63С, 64С). Зеленый карбид кремния более хрупок, чем черный, и применяется для обработки чугуна, твердых сплавов цветных металлов, камня. Черный карбид кремния более прочен и применяется в аналогичных случаях, но более тяжелых условиях обработки.

В 1957 г. был синтезирован новый абразивный материал – кубический нитрид бора. Кубический нитрид бора можно встретить под названиями: борозон, композит гексанит, эльбор, кубонит, КНБ. По своим прочностным характеристикам и режущей способности эльбор близок к алмазу. Его условное обозначение Л. Плотность эльбора (3,48 г/см^3) немного уступает плотности алмаза (3,5 г/см^3).

Для обработки легированных труднообрабатываемых жаропрочных сталей и сплавов применяют шлифовальные круги, бруски, шкурки, лезвийный инструмент из эльбора.

Зернистость инструмента. Зернистость инструмента характеризует размер зерен основной группы. Требования к зерновому составу шлифовальных материалов приведены в ГОСТ 3647–80 (с 2009 г. принят Стандарт FEPA 42Д), алмазных порошков – в ГОСТ 9206–80Е, эльбора в зерне – ОСТ 2-МТ79-2-75.

Твердость абразивных инструментов является важной характеристикой абразивного инструмента. *Под твердостью абразивного круга понимают свойство связки удерживать зерна под действием внешних сил.*

Чем выше степень твердости, тем прочнее связь между абразивными зернами в инструменте. И чем выше твердость, тем больше связки и меньше пор. Таким образом, абразивные инструменты из

одного и того же материала, с одной и той же связкой могут иметь различную твердость.

Поэтому из зерен самого твердого абразивного материала можно изготовить мягкие абразивные инструменты и, наоборот, из абразивного материала малой твердости можно изготовить твердые абразивные инструменты.

Мягкими абразивными инструментами (в отличие от твердых) *называют такие, из которых абразивные зерна легко выкрашиваются.*

Структура шлифовального круга. *Процентное соотношение трех основных фазовых составляющих* (зерен, связки и пор) *в объеме абразивного инструмента называют* ***структурой.*** Структуры абразивных инструментов обозначают номерами от 0 до 20.

Абразивные инструменты плотной структуры применяются для снятия очень небольшого припуска (малое число пор). Инструменты с плотными (0 –3) структурами используют для доводки, прецизионного шлифования.

Основные операции предварительного и окончательного шлифования производят инструментами средних (5, 6, 7, 8) структур. С повышением номера структуры расстояние между зернами увеличивается, лучше отводится стружка, СОТС легче проникает в зону резания, можно работать с несколько повышенными режимами резания. Но инструменты с более открытой структурой обладают меньшей прочностью и быстрее теряют форму профиля. Все чаще и чаще, особенно для врезного шлифования заготовок ответственных деталей, применяют высокопористые круги.

Связка инструментов. Абразивные зерна в теле инструмента должны быть связаны между собой, если этот инструмент представляет собой круг, брусок, сегмент и т. п. Связующий материал или совокупность нескольких связующих, удерживающих абразивные зерна в теле инструмента, называют связкой.

Изнашивание и стойкость кругов. Шлифование, как и любой процесс механической обработки, сопровождается интенсивным изнашиванием шлифовального круга. Изнашивание проявляется не только в затуплении режущих кромок, но и в выкрашивании зерен,

заполнении пор продуктами шлифования («засаливание») и в износе наиболее нагруженных частей режущей поверхности круга.

7.6. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин

Дальнейшее развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкции.

Выполнить эти требования можно при достижении особых качеств поверхностных слоев деталей.

Влияние качества поверхностных слоев на эксплуатационные свойства огромно, ***изменяются:***

- износостойкость;
- коррозионная стойкость;
- контактная жесткость;
- прочность соединений и др. свойства.

С этой целью широко применяются отделочные методы обработки, для которых характерны малые силы резания, незначительное тепловыделение, малая толщина срезаемого слоя.

Хонингование

Хонингование применяют для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки (для удержания смазочного материала на поверхности деталей).

Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне). Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 7.10, *а*). Соотношение скоростей движений составляет 1,5÷10, и определяет условия резания.

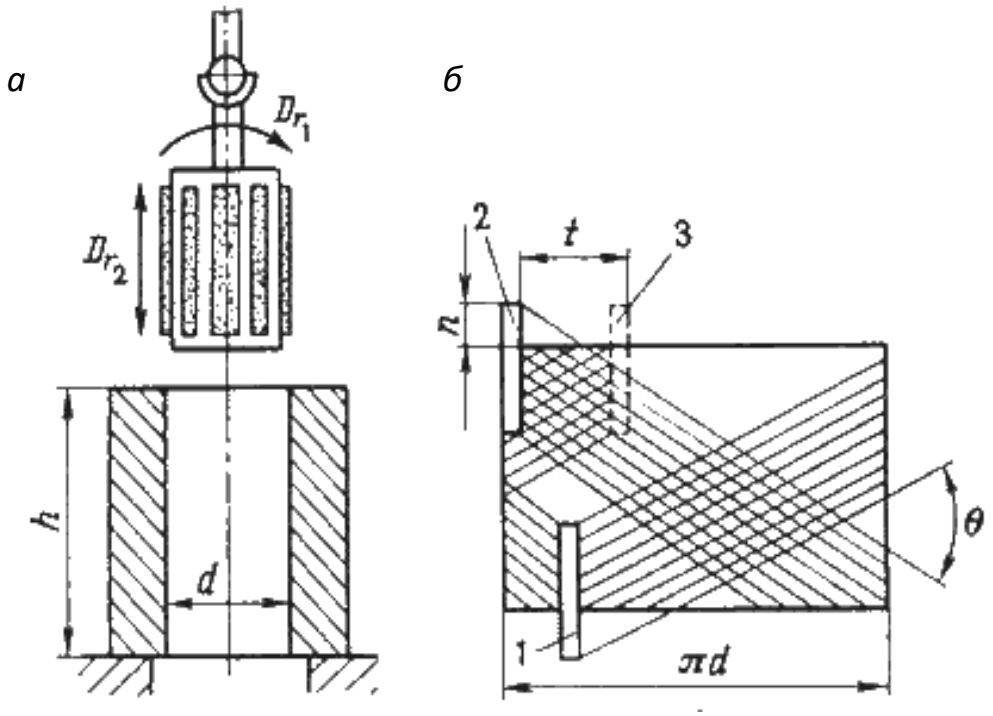


Рис. 7.10. Процесс хонингования:
а – схема хонингования; *б* – схема образования микропрофиля поверхности после хонингования

При сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 7.10, *б*).

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление бруска контролируется.

Хонингованием исправляют погрешности формы от предыдущей обработки, а чистовое – для повышения качества поверхности.

Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных установках.

Суперфиниширование

Суперфиниширование уменьшает шероховатость поверхности, оставшуюся от предыдущей обработки. Получают очень гладкую поверхность, сетчатый рельеф, благоприятные условия для взаимодействия поверхностей.

Поверхности обрабатывают абразивными брусками, установленными в специальной головке. Для суперфиниширования харак-

терно колебательное движение брусков наряду с движением заготовки (рис. 7.11).

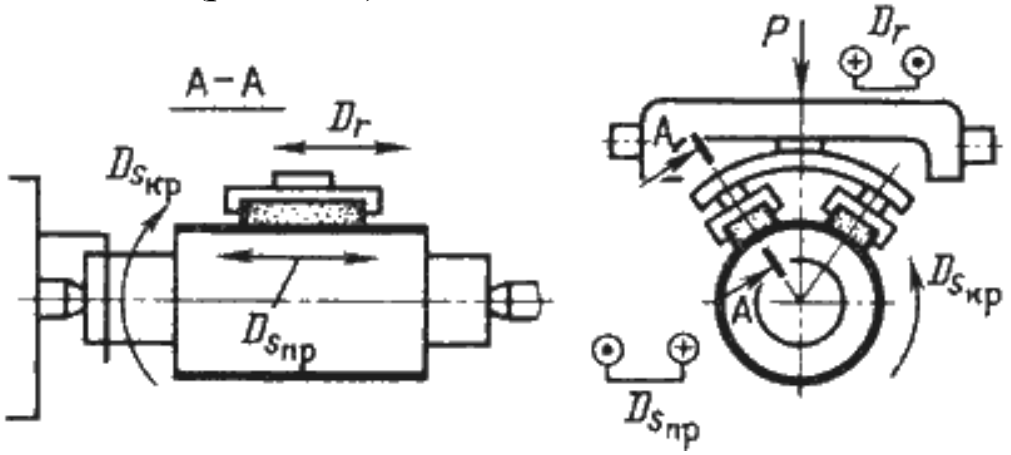


Рис. 7.11. Схема суперфиниширования

Процесс резания происходит при давлении брусков $(0,5 \div 3)10^5$ Па в присутствии смазочного материала малой вязкости. Амплитуда колебаний 1,5÷6 мм. Частота колебаний 400÷1200 мин $^{-1}$. Бруски подпружинены и самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности. Соотношение скоростей $D_{Sкр}$ к $D_г$ в начале обработки составляет 2÷4, а в конце – 8÷16.

Полирование

Полированием уменьшают шероховатость поверхности.

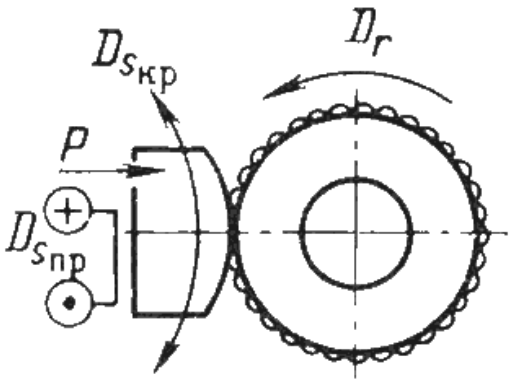
Этим способом получают зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников) либо на декоративных элементах (облицовочные части автомобилей). Используют полировальные пасты или абразивные зерна, смешанные со смазочным материалом. Эти материалы наносят на быстровращающиеся эластичные круги (фетровые) или на колеблющиеся щетки.

Хорошие результаты дает полирование быстродвижущимися абразивными лентами (шкурками).

При этом одновременно протекают следующие процессы:

- тонкое резание;
- пластическое деформирование поверхностного слоя;
- химические реакции (воздействие на металл химически активных веществ).

Схема полирования представлена на рис. 7.12.



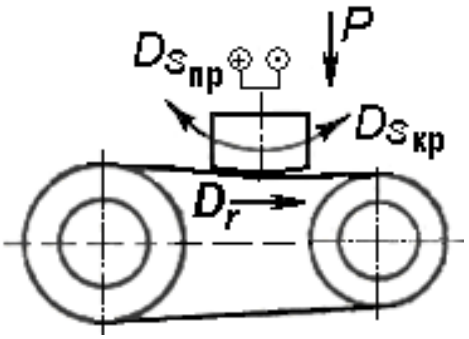


Рис. 7.12. Схема полирования

Рис. 7.13. Полирование бесконечной лентой

ля

процесса характерны высокие скорости, до 50 м/с. Заготовка поджимается к кругу силой Р и совершает движения подачи $D_{Sкр}$ и $D_{Sпр}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности.

Полирование не только уменьшает шероховатость, но и придает зеркальный блеск, что нужно для снижения трения и декоративного вида. Для полирования применяют полировальные пасты – абразивные зёрна со смазочным веществом. Инструментом являются круги из войлока, фетра, кожи; щётки, бесконечные абразивные ленты (рис. 7.13).

Надо отметить, что полирование не исправляет погрешности формы, так как используется гибкий инструмент.

Абразивно-жидкостная отделка

Данный вид обработки применяется для отделки объемно-криво-линейных, фасонных поверхностей.

На обрабатываемую поверхность, имеющую следы предшествующей обработки, подают струи антикоррозионной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка.

Водно-абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности.

Интенсивность съема материала регулируется зернистостью порошка, давлением струи и углом, под которым подают жидкость.

Жидкостная пленка играет важную роль в данном процессе. Зерна, попадающие на выступы, легко преодолевают ее, а зерна, попадающие во впадины, – встречают сопротивление, съем материала затрудняется, шероховатость сглаживается.

Метод жидкостного полирования успешно применяется при обработке фасонных внутренних поверхностей. Сопло вводится в полость заготовки, которая совершает вращательное и поступательное перемещения в зависимости от профиля обрабатываемой поверхности.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается особенность шлифования?
2. Расскажите об основных методах шлифования различных поверхностей.
3. Какие абразивные материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?
4. Какие связующие материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?
5. Расскажите о конструктивных особенностях круглошлифовального станка.
6. Каковы конструктивные особенности внутришлифовального станка?
7. Расскажите о конструктивных особенностях бесцентрово-шлифовальных станков.
8. Перечислите виды отделочной обработки и дайте им краткую характеристику.
9. Назовите область применения отделочной обработки различных видов.

8. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Расширенное внедрение труднообрабатываемых материалов для производства деталей машин, усложнение конструкций этих деталей в купе с возрастающими требованиями к понижению себестоимости и повышению производительности послужило предпосылкой разработки и освоения способов электрофизической обработки.

Электрофизические способы обработки металлов основаны на использовании специфичных явлений, возникающих под действием

электронного тока, для удаления материала либо конфигурации формы заготовки.

Главным преимуществом электрофизических способов обработки металлов является **возможность их использования для конфигурации формы заготовок из материалов, не поддающихся обработке резанием,** причём обработка этими способами происходит в критериях воздействия малых сил либо при полном их отсутствии.

Принципиальным преимуществом электрофизических способов обработки металлов является независимость производительности большинства из их от твёрдости и хрупкости обрабатываемого материала. Трудоёмкость и продолжительность этих способов обработки материалов завышенной твёрдости (НВ > 400) меньше, чем трудоёмкость и продолжительность обработки резанием.

Электрофизические способы обработки металлов обхватывают фактически все операции механической обработки и не уступают большинству из них по достигаемой шероховатости и точности обработки.

Э. и э. м. о. весьма разнообразны и условно их можно разделить на электрофизические (электроэрозионные, электромеханические, лучевые), электрохимические и комбинированные (рис. 8.1).

Электроэрозионные методы обработки

Эти методы основаны на явлении эрозии электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока.

Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного пространства диэлектрической жидкостью – керосином, минеральным маслом.

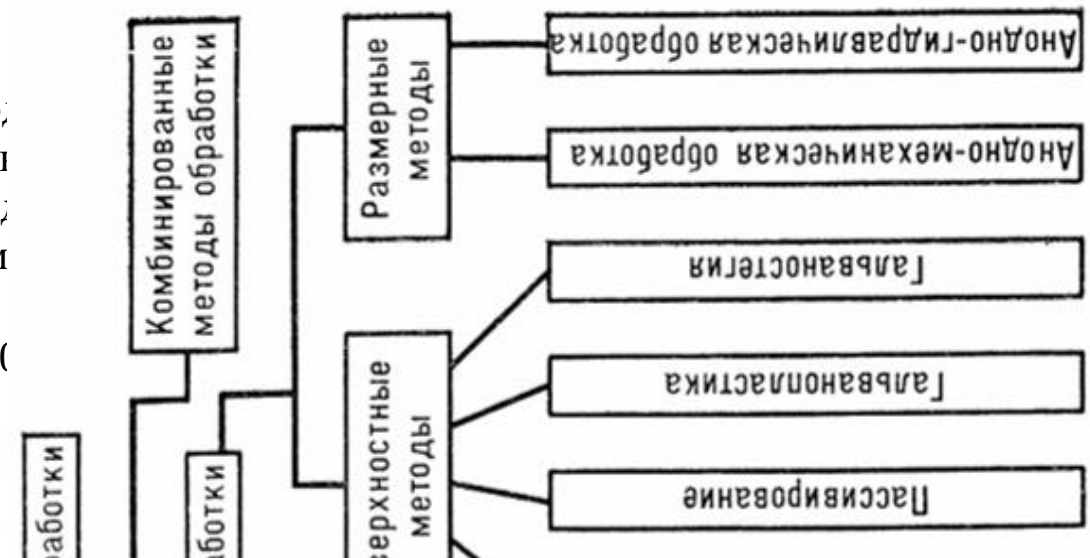


Рис. 8.1. Классификация основных электрофизических и электрохимических методов обработки

элементарного объема металла, и на обрабатываемой поверхности образуется лунка.

Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде гранул диаметром 0,01÷0,005 мм.

При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой (0,01÷0,05 мм) при заданном напряжении.

Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

Электроискровая обработка

Схема электроискровой обработки представлена на рис. 8.2. *При электроискровой обработке используют импульсные искровые разряды между электродами* (обрабатываемая заготовка (анод) – инструмент (катод)).

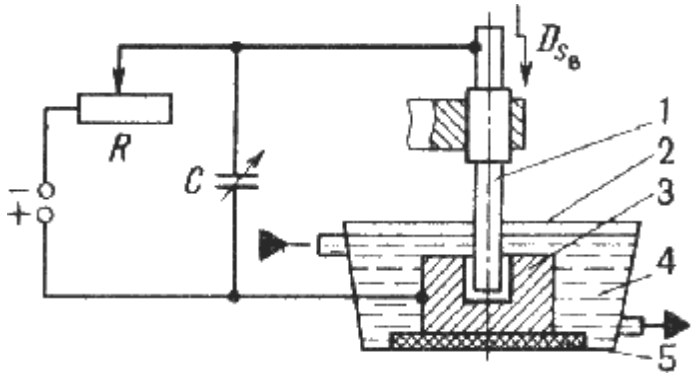


Рис. 8.2. Схема электроискрового станка:
1 – электрод-инструмент; *2* – ванна; *3* – заготовка-электрод;
4 – диэлектрическая жидкость; *5* – изолятор

Конденсатор заряжается через резистор от источника постоянного тока напряжением 100÷200 В. Когда напряжение на электродах *1* и *3* достигает пробойного, образуется канал, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором.

Продолжительность импульса 20÷200 мкс.

Точность обработки до 0,002 мм, 0,63÷0,16 мкм.

Для обеспечения непрерывности процесса (зазор = const) станки снабжаются следящей системой и системой автоматической подачи инструмента.

Получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения, глухие отверстия и полости, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа, выполняют плоское, круглое и внутреннее шлифование.

Изготовляют штампы и пресс-формы, фильеры, режущий инструмент.

Схемы электроискровой обработки представлены на рис. 8.3.

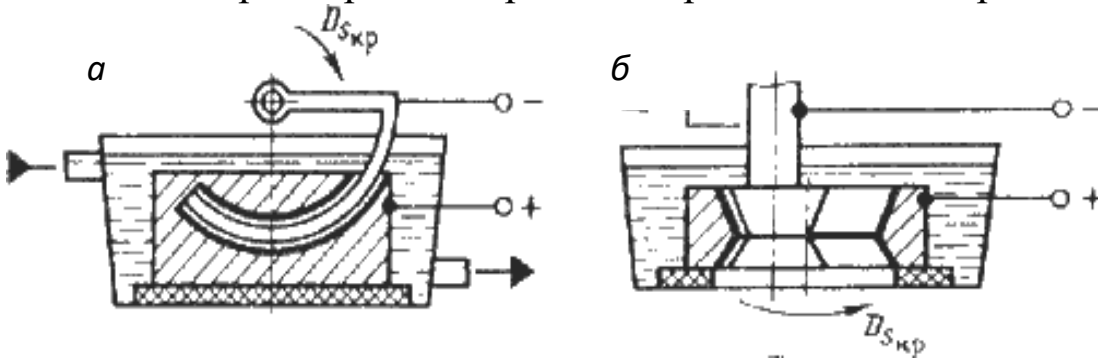


Рис. 8.3. Схемы электроискровой обработки:
а – прошивание отверстия с криволинейной осью;
б – шлифование внутренней поверхности фильеры

Электроискровую обработку применяют для упрочнения поверхностного слоя металла. На поверхность изделия наносят тонкий слой металла или композиционного материала. Подобные покрытия повышают твердость, износостойкость, жаростойкость, эрозионную стойкость и так далее.

Электроимпульсная обработка

При электроимпульсной обработке используют электрические импульсы большой длительности (5÷10 мс), *в результате чего происходит дуговой разряд.*

Большие мощности импульсов от электронных генераторов обеспечивают высокую производительность обработки.

Электроимпульсную обработку целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в детали из коррозионностойких и жаропрочных сплавов.

Схема обработки показана на рис. 8.4.

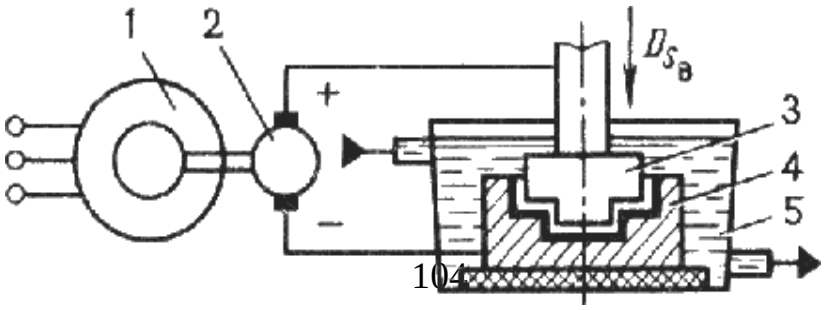


Рис. 8.4. Схема электроимпульсной обработки:
1 – электродвигатель; *2* – импульсный генератор постоянного тока;
3 – инструмент-электрод; *4* – заготовка-электрод; *5* – ванна

Электроконтактная обработка

Электроконтактная обработка основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки или инструмента.

Источником теплоты служат импульсные дуговые разряды.

Этот вид обработки рекомендуется для крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов (рис. 8.5.).

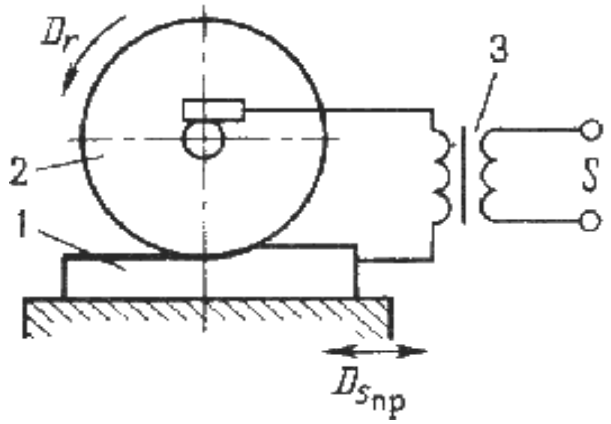


Рис. 8.5. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:
1 – обрабатываемая заготовка; *2* – инструмент-электрод; *3* – трансформатор

Этот метод применяют для зачистки отливок от заливов, отрезки литниковых систем, зачистки проката, шлифования коррозионных деталей из труднообрабатываемых сплавов.

Электрохимическая обработка

Электрохимическая обработка основана на законах анодного растворения металлов при электролизе.

При прохождении электрического тока через электролит на поверхности заготовки происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение.

Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность этого способа зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого материала и плотности тока.

Электрохимическое полирование (рис. 8.6).

Электрохимическое полирование осуществляется в ванне, заполненной электролитом (растворы кислот и щелочей).

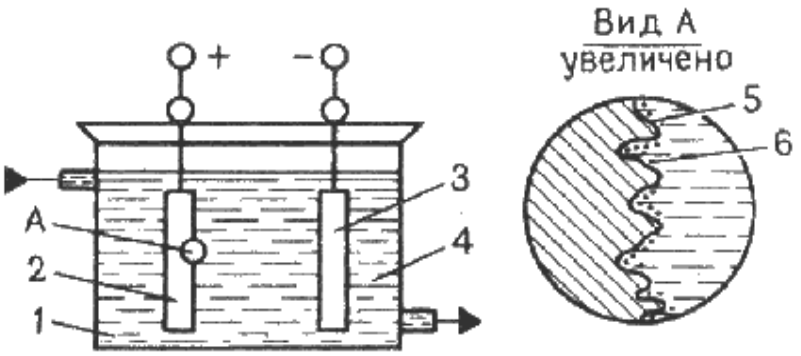


Рис. 8.6. Схема электрохимического полирования:
1 – ванна; *2* – обрабатываемая заготовка; *3* – пластина-электрод;
4 – электролит; *5* – микровыступ; *6* – продукты анодного растворения

Обрабатываемую заготовку подключают к катоду. Катодом служит металлическая пластинка из свинца, меди, стали (иногда электролит подогревают).

При подаче напряжения начинается процесс растворения металла заготовки (в основном на выступах микронеровностей). В результате избирательного растворения, микронеровности сглаживаются, и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск.

Улучшаются электрофизические характеристики деталей: уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой не деформируется, исключаются упрочнения и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.

Этим методом получают поверхности под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготовляют тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

Электрохимическая размерная обработка

Электрохимическая размерная обработка (рис. 8.7) *выполняется в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток.*

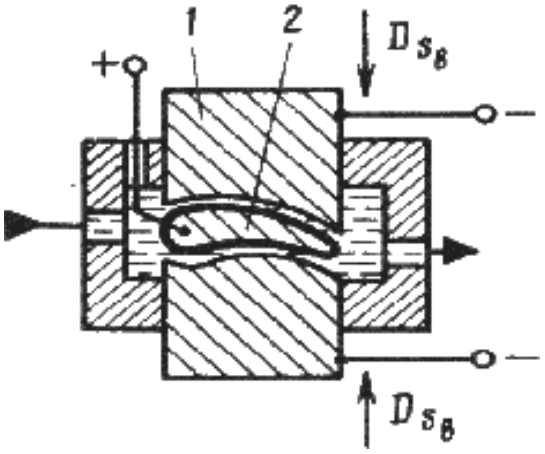


Рис. 8.7. Схема электрохимической размерной обработки:
1 – инструмент-катод; *2* – заготовка-анод

Электролит растворяет образующиеся на поверхности заготовки- анода соли и удаляет их из зоны обработки. Высокая производительность процесса заключается в том, что одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки.

Участки, не требующие обработки, изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование происходит по методу копирования.

Точность обработки повышается при уменьшении рабочего зазора. Для его контроля используют высокочувствительные элементы, которые встраивают в следящую систему.

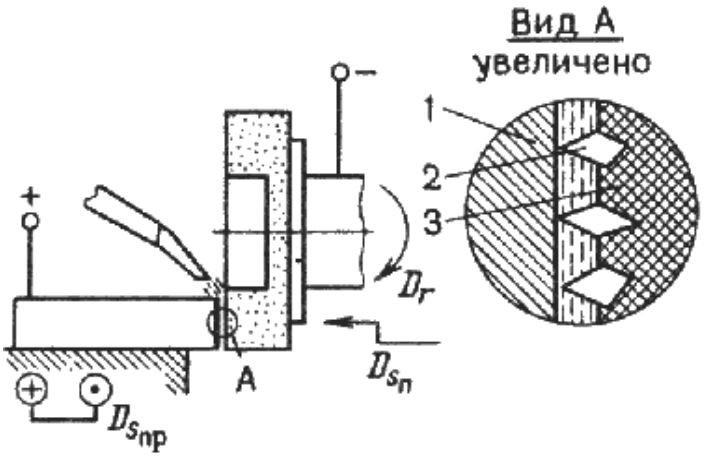
Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сталей, карбидных и труднообрабатываемых материалов. Также можно обрабатывать тонкостенные детали с высокой точностью и качеством обработанной поверхности (отсутствует давление инструмента на заготовку).

Комбинированные методы обработки

Электроабразивная и электроалмазная обработка. При таких видах обработки инструментом служит шлифовальный круг из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем). Между анодом-заготовкой и катодом-шлифовальным кругом имеется зазор, куда подается электролит. Продукты анодного растворения удаляются абразивными зернами; шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовка –

движение подачи, которые соответствуют процессу механического шлифования (рис. 8.8).

Рис. 8.8. Схема электроабразивного шлифования:



1 – заготовка; *2* – абразивные зерна; *3* – связка шлифовального круга

Введение в зону резания ультразвуковых колебаний повышает производительность в 2÷2,5 раза при улучшении качества поверхности. Эти методы применяются для отделочной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как силы резания незначительны.

Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионным и электрохимическим методами.

Заготовку подключают к аноду, а инструмент – к катоду. В качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку.

Обработку ведут в среде электролита (водный раствор жидкого натриевого стекла).

Рабочие движения – как при механической обработке резанием.

Электролит в зону обработки подают через сопло (рис. 8.9).

При пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, как при электрохимической обработке.

При соприкосновении инструмента с микронеровностями заготовки происходит электроэрозия, присущая электроискровой обработке. Металл заготовки в месте контакта с инструментом разогревается и разжижается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются при относительных движениях инструмента и заготовки.

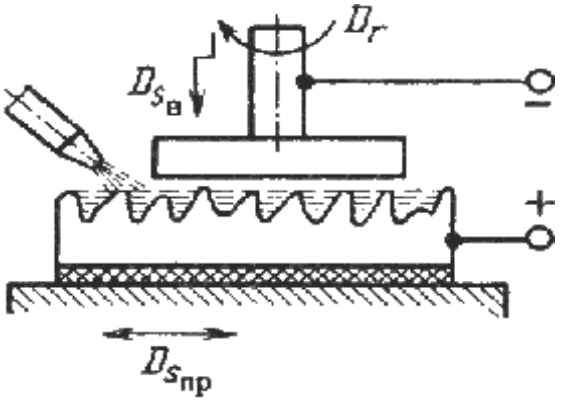


Рис. 8.9. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности

Этим способом обрабатывают заготовки из высокопрочных и труднообрабатываемых сплавов, вязких материалов.

Этим способом разрезают заготовки на части, прорезают пазы и щели, обрабатывают поверхности тел вращения, шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения, полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.

Лучевые методы обработки

Электроннолучевая обработка – основана на превращении кинетической энергии направленного пучка электронов в тепловую энергию. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет обрабатывать заготовку за счет нагрева, расплавления и испарения материала с локального участка.

Схема электроннолучевой обработки представлена на рис. 8.10.

Электронный луч образуется за счет эмиссии электронов с нагретого в вакууме катода. Он с помощью электростатических и электромагнитных линз фокусируется на заготовке.

При размерной обработке установка работает в импульсном режиме, что обеспечивает локальный нагрев заготовки.

Электроннолучевой метод эффективен при обработке отверстий диаметром 1÷0,010 мм, при прорезании пазов, резке заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги, изготовлении заготовок

из труднообрабатываемых металлов и сплавов, керамики, кварца, полупроводникового материала.

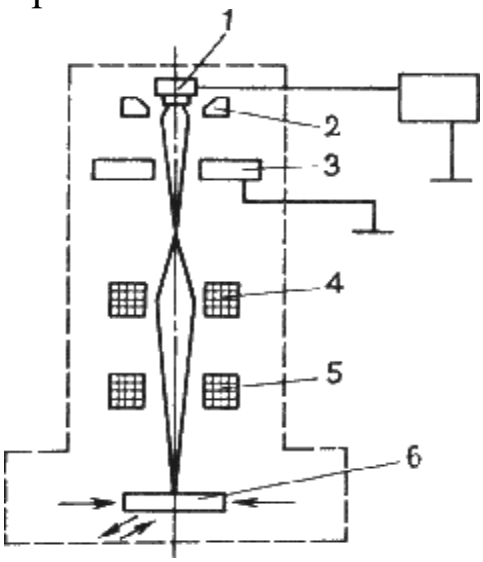


Рис. 8.10. Схема установки для электроннолучевой сварки:
1 – катод электронной пушки; *2* – электрод; *3* – анод;
4 и *5* – отклоняющая магнитная система; *6* – заготовка

Лазерная обработка основана *на тепловом воздействии светового луча высокой энергии на поверхность заготовки*. Источником светового излучения служит лазер – оптический квантовый генератор.

Энергия светового луча не велика 20÷100 Дж, но она выделяется в миллионные доли секунды и сосредотачивается в луче диаметром 0,01 мм. Поэтому температура в зоне контакта 6000÷8000 ºС.

Слой металла мгновенно расплавляется и испаряется. С помощью этого метода осуществляется прошивание отверстий, разрезание заготовки, прорезание пазов в заготовках из любых материалов (фольга из тантала, вольфрама, молибдена). Также с помощью этого метода можно осуществить контурную обработку по сложному периметру.

Плазменная обработка

Сущность обработки заключается в том, что плазму направляют на обрабатываемую поверхность.

Плазменная струя представляет собой направленный поток частично или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000÷20000 ºС. Плазму получают в плазменных горелках, пропуская

газ через столб сжатой дуги. В качестве плазмообразующих газов используют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси.

С помощью этого метода прошиваются отверстия, вырезаются заготовки из листового материала, производится точение в заготовках из любых материалов.

При прошивании отверстий и разрезке головку устанавливают перпендикулярно к поверхности заготовки, при строгании и точении под углом 40÷60º.

Плазменное напыление

Этот вид обработки осуществляется с целью получения заданных размеров.

В камеру плазматрона подается порошкообразный конструкционный материал и инертный газ под давлением.

Под действием дугового разряда конструкционный материал плавится и переходит в состояние плазмы; струя плазмы сжимается в плазматроне газом. Выходя из сопла, струя направляется на обрабатываемую заготовку.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Чем вызвано появление и развитие методов ЭФХО?
2. Каким группам методов ЭФХО соответствует действие наименьших обрабатывающих усилий?
3. Влияет ли уровень диэлектрической проницаемости жидкости на производительность ЭЭО?
4. Чем отличаются электроискровые режимы ЭЭО от электроимпульсных?
5. В чем отличия ЭКО от ЗЭО?
6. Почему ЭЛО проводится в вакуумной камере?
7. Возможна ли светолучевая обработка диэлектрических материалов?
8. На каких физических явлениях основана УЗО?
9. Почему при ЭХО возрастает интенсивность растворения выступов микронеровностей?
10. Как влияет уровень электрических параметров ЭХО на ширину межэлектродного зазора?
11. Какие разновидности электрохимической обработки вы знаете?
12. Какие методы ЭФХО оказывают на экологию наиболее вредное воздействие?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология конструкционных материалов.* Компактный учебный курс: учеб. пособие для машиностр. образовательных учреждений / В. П. Глухов, В. Л. Тимофеев, В. Б. Фёдоров А. А. Чумичкин; под общ. ред. В. Л. Тимофеева. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2008. 258 с.

2. *Сафонов Б. П., Брагин Л. П., Марценко К. Н.* Сборник задач по материаловедению и технологии конструкционных материалов. НИРХТУ, Новомосковск, 2003. 78 с.

3. *Технология конструкционных материалов* / А. М. Дальский [и др.]. М.: Машиностроение, 2004. 512 с.

4. *Технология металлорежущих материалов* / А. М. Дальский [и др.]. М., Машиностроение, 2008. 664 с.

5. *Петруха П. Г.* Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. М., Машиностроение, 2007. 614 с.

6. *Обработка металлов резанием.* Справочник технолога / А. П. Панов [и др.]. М., Машиностроение, 2009. 736 с.

7. *Марочник сталей и сплавов* / В. Г. Сорокин, А. А. Гервасьев М. А. М., Интернет-инжиниринг, 2001. 608 с.

8. *Справочник сварщика /* под ред. В. В. Степанова. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 520 с.

9. *Технология конструкционных материалов. Основы обработки металлов резанием /* В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов В. В. Стрельцов, А. В. Карпенкова. М.: Компания Спутник+, 2002. 396 с.

10. *Вишницкий А. Л., Ясногородский И. З., Григорчук И. П.* Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов, Л., 1971. 212 с.

14. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология конструкционных материалов: лаб. практикум по темам «Металлургия», «Литье», «Обработка металлов давлением». Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2016.68 с.

15. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология конструкционных материалов: лаб. практикум по теме «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ». Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2015. 65 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ…… 3
1.1. Общие понятия и определения……. 3
1.2. Элементы режима резания…… 4
1.3. Геометрические параметры режущего клина……. 6
1.4. Материалы для изготовления режущих инструментов. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам……... 9
1.5. Физические основы резания…… 13
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……... 26
2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ……... 28
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……... 30
3. ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ…… 32
3.1. Типы токарных резцов и их назначение…… 32
3.2. Станки токарной группы…….. 34
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 42
4. ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ…… 43
4.1. Характеристика методов обработки осевым инструментом…… 44
4.2. Конструктивные особенности инструментов основных типов… 45
4.3. Режим резания при сверлении…… 49
4.4. Силы резания при сверлении…….. 51
4.5. Станки для обработки отверстий……... 53
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 54
5. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ 55
5.1. Фреза и ее элементы…… 57
5.2. Основные типы фрез…… 58
5.3. Режим резания при фрезеровании……. 62
5.4. Силы резания при фрезеровании……. 63
5.5. Фрезерные станки…… 65
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 65
6. ОБРАБОТКА СТРОГАНИЕМ ДОЛБЛЕНИЕМ И ПРОТЯГИВАНИЕМ…… 66
6.1. Строгальные и долбежные резцы. Элементы резания при строгании и долблении…… 68
6.2. Станки строгальной группы…… 70
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 71
6.3. Обработка на протяжных станках…….. 71
6.3.1. Протягивание и схемы резания при протягивании внутренних наружных поверхностей…….. 72
6.3.2. Элементы режима резания при протягивании……. 76

6.3.3. Сила резания при протягивании…… 76
6.3.4.Типы протяжек, их конструктивные элементы и геометрические параметры……. 77
6.3.5. Протяжные станки. Основные параметры…… 79
Горизонтально-протяжные станки……. 80
Вертикально-протяжные станки……. 81
Протяжные станки непрерывной обработки……. 82
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 82
7. ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ…….. 83
7.1. Особенности процесса шлифования. Абразивный инструмент 83
7.2. Схемы обработки при шлифовании…….. 84
7.3. Элементы режима резания при шлифовании…… 88
7.4. Силы резания при шлифовании…….. 89
7.5. Конструкции абразивных инструментов…….. 90
7.6. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин……... 93
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 97
8. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА……..... 98
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….. 108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……. 109



Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ высшего образования

Глинникова Т. П., Волегов С. А.

Технология конструкционных материалов

Лабораторный практикум по темам «Литье», «Обработка металлов давлением»

для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 «Машиностроение», 15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования 15.02.01- «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Глинникова Т. П., Волегов С. А.

Технология конструкционных материалов

Лабораторный практикум по темам
«Металлургия», «Литье»,
«Обработка металлов давлением»
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 (150700)- «Машиностроение»,
15.03.02 (151000) - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования
(15.02.01) 151031 - «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Издание УГГУ Екатеринбург, 2018
Г 54
Рецензент: *А. П. Комиссаров*, д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Руководство рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 декабря 2018 г. (протокол № 4) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Глинникова Т. П., Волегов С. А.
Г 54 Технология конструкционных материалов: Лабораторный практикум по темам «Литье», «Обработка металлов давлением» для студентов направления бакал*авр*иата: 15.03.01 – «Машиностроение», 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования 15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного и заочного обучения / Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. 60 с.

Руководство составлено для проведения лабораторных работ по дисциплине "Технология конструкционных материалов" В руководстве изложены краткие сведения о способах получения чугуна и стали, методах обработки металлов давлением, видах литья, технологии изготовления литейной формы и литейной оснастки.

© Глинникова Т. П., Волегов С. А.,
© Уральский государственный
горный университет, 2018

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.
ПЛАВКА ЧУГУНА В ВАГРАНКЕ

Цель работы

1. Изучить принцип работы ваграночной печи
2. Изучить технологический процесс получения чугуна в ваграночных печах (в вагранках)
3. Изучить конструкцию и устройство вагранки.

Краткие сведения о плавке чугуна в вагранке

Несмотря на создание в настоящее время ряда новых плавильных агрегатов, основное количество чугуна для отливок выплавляется в вагранках.

Устройство вагранки. Вагранка, рис. 1.1, представляет собой шахтную печь, диаметр которой колеблется в пределах от 700 до 2300 мм, а производительность 4 – 50 т/ч. По конструктивным особенностям вагранки делят на два типа: с копильником и без него. Первые применяют при производстве крупных отливок, когда необходимо накопить большое количество расплава, а вторые – при получении мелких и средних отливок с небольшой толщиной стенок, когда требуется расплав, обладающий более высокой жидкотекучестью.

Кожух вагранки *10* изготовляют из листовой стали в виде цилиндра, внутренняя поверхность которого выкладывается огнеупорным кирпичом *9*. Между кожухом и огнеупорным кирпичом оставляется зазор размером 20 – 50 мм, который засыпается кварцевым песком. Кожух вагранки устанавливается на массивную стальную подовую плиту *5*, имеющую посредине отверстие (равное внутреннему диаметру футеровки), которое закрывается дверцами *2*, снабженными запорным устройством. В свою очередь, подовая плита опирается на четыре колонны *4*, установленные на бетонный фундамент.

Дно *6* вагранки, называемое лещадью, набивается слоем формовочной смеси. В нижней части вагранки у лещади предусмотрено отверстие – летка *1* для выпуска чугунного расплава в копильник *13*, а затем через летку *19* и желоб *20* в разливочный ковш. Для выпуска шлака в копильнике предусмотрена шлаковая летка. Для введения

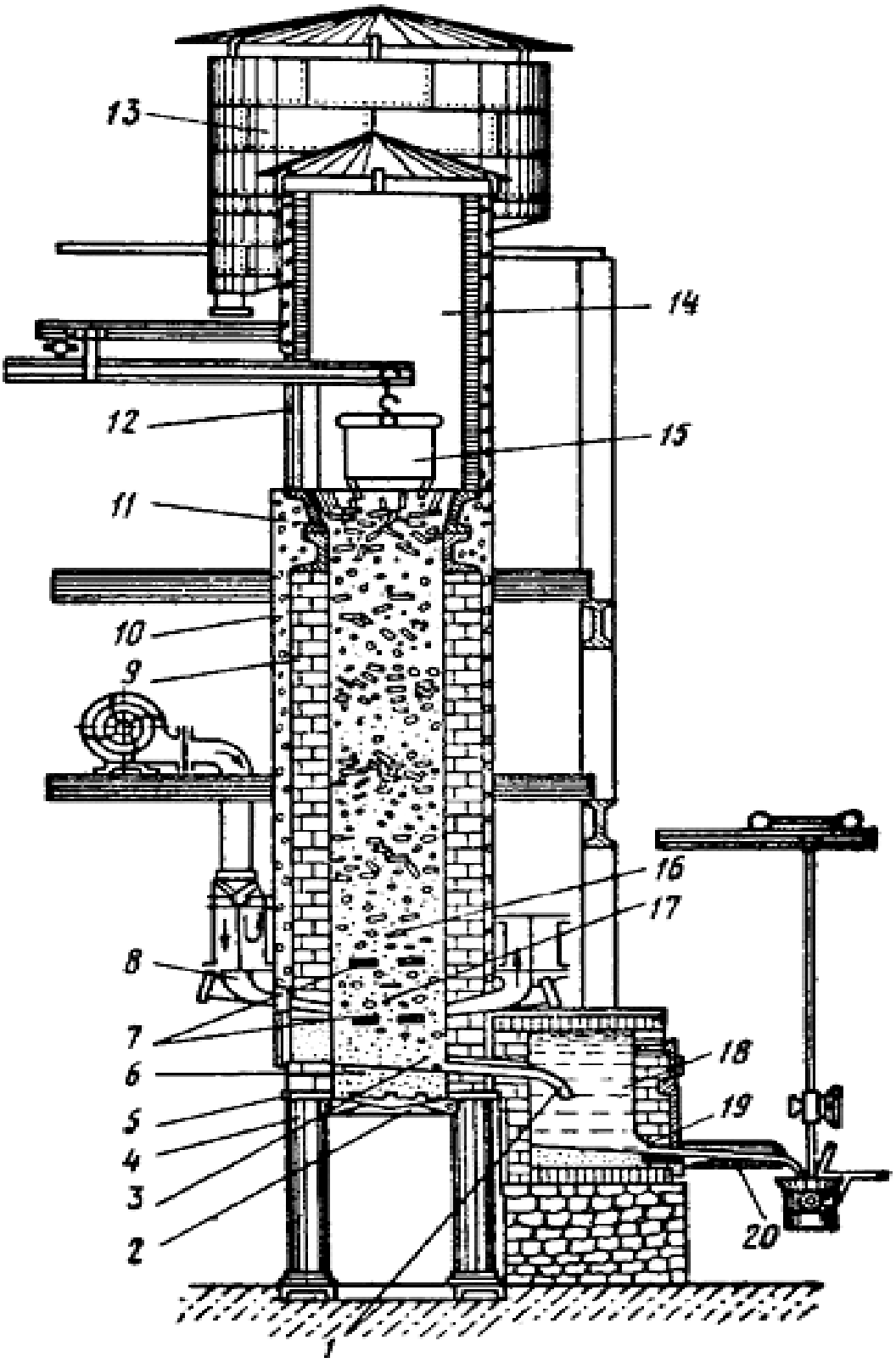


Рис.1.1. Схема устройства вагранки открытого типа с копильником:
1 – летка, *2* – дверцы днища, *3* – горн, *4* – колонны, *5* – подовая плита, *6* – лещадь, *7* – окна, *8* – фурмы, *9* – кирпичная кладка, *10* – кожух, *11* – чугунные кирпичи, *12* – загрузочное окно, *13* – искроуловитель. *14* – шахта. *15* – бадья, *16* – металлическая шихта, *17* – коксовая колоша, *18* – копильник, *19* – летка для расплава, *20* – желоб

необходимого для горения топлива воздуха в шахте вагранки предусмотрены окна *7* и специальные трубы *8*, называемые фурмами; в них воздух поступает из фурменной коробки, соединенной с вентилятором. Чтобы обеспечить равномерность распределения воздуха, он вводится в плавильную зону двумя рядами фурм, располагаемых в шахматном порядке.

Завалка исходных материалов в вагранку производится с колошниковой площадки через загрузочное окно *12* бадьей *15*. Отходящие при плавке газы удаляются через верхнюю часть шахты *14*, после чего направляются в искроуловитель *13*. Для предохранения футеровки печи от ударов кусками загружаемой шихты верхнюю часть шахты вагранки выкладывают пустотелыми чугунными кирпичами *11*. По виду используемого при плавке топлива вагранки подразделяют на коксовые, коксогазовые и газовые. В связи с необходимостью защиты окружающей среды вагранки с открытыми искроуловителями (см. рис. 1.1) заменяют на вагранки закрытого типа (рис. 1.2).

Материалы ваграночной плавки

К ним относят огнеупоры, металлургическую шихту, флюсы и топливо.

Огнеупоры – обладающие высокой температурой плавления материалы и изделия, применяемые для оформления рабочего пространства (шахты) вагранки, благодаря которым обеспечивается процесс плавки в условиях высоких (свыше 1580°С) температур. В качестве огнеупоров для футеровки горна, плавильного пояса и фурменной зоны чаще всего применяют шамотный кирпич марок ШАВ и ШБВ, поставляемый литейным цехам по ГОСТ 3272-2002. Для заделки швов кирпичной кладки используют массу, состоящую из кварцевого песка (80 – 85%), огнеупорной глины (20 – 15%), крошки шамота и воды.

Металлургическая шихта – строго подобранный набор исходных металлических материалов, обеспечивающих требуемый (заданный) химический состав получаемого чугуна. В состав ваграночной шихты могут входить выплавляемые в доменных печах чушковые чугуны (литейные и передельные), чугунный и стальной лом, возврат собственного производства (литники, сплески, брак отливок), а также различные присадки (ферросилиций, ферромарганец и др.). При получении высококачественных чугунов в шихту вводят специальные легированные (содержащие хром, никель) чугуны.

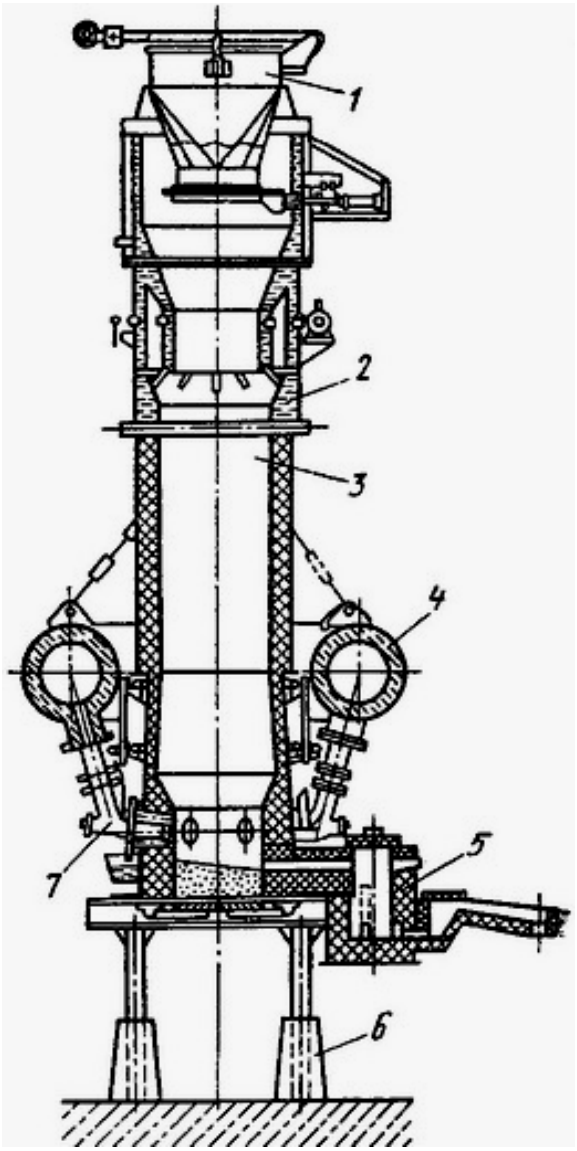


Рис. 1.2. Схема устройства вагранки закрытого типа без копильника:
1 – узел герметизации загрузки шихты, *2* – узел отбора ваграночных газов, *3* – водоохлаждаемая шахта, *4* – фурменные трубы. *5* – сифонный шлакоотделитель, *6* – опорная часть, *7* – фурма

Флюсы – неметаллические шихтовые материалы, которые вводят в вагранку для понижения температуры плавления неметаллических включений и перевода в шлак золы топлива, кварцевого песка, а также вредных (серы и фосфора) и посторонних примесей. В качестве флюса в ваграночной плавке наиболее широко применяют известняк (содержащий не менее 97% $CaCO_3$), расход которого составляет 2,5 – 4,0% от массы расплавляемой шихты, реже плавиковый шпат и др.

Топливо. Наиболее распространенным видом топлива для ваграночной плавки является кокс, при горении которого выделяется теплота, обеспечивающая плавление исходных шихтовых материалов

и образующегося шлака, понижение его вязкости, с тем, чтобы наиболее полно протекали металлургические процессы между расплавом чугуна и шлаком. Расход кокса в вагранках составляет 10 – 12% от массы расплавляемой шихты.

Перед использованием шихтовые материалы подвергают обработке: металлические (чушковые чугуны, лом и отходы собственного производства) измельчают и разрезают на более мелкие части специальным оборудованием (чушколомами, аллигаторными ножницами, копрами и др.), а крупные куски флюсов – в щековых дробилках и в шаровых мельницах. Для интенсификации горения кокса его перед использованием просеивают на специальных ситах – грохотах для отсеивания мелочи.

Технологический процесс плавки

Вновь построенная или отремонтированная вагранка (рис. 1.2) должка быть хорошо просушена. После розжига в нее загружают слой кокса высотой 500 – 1500 мм, который называется холостой колошей. Этот кокс служит для разогрева вагранки и поддерживает расплавляемые шихтовые материалы в зоне наиболее высоких температур, что способствует ускорению процесса плавки. Далее на разогретый кокс холостой колоши загружают рабочую коксовую колошу, флюс и первую порцию металлической шихты. Таким образом, загрузка шихтовых материалов происходит слоями: кокс – флюс – металл.

В современных условиях загрузку шихты обычно осуществляют с помощью бадьи, вводимой в шахту вагранки наклонным (скиповым) подъемником (рис. 1.3). После загрузки шихтовых материалов открывают фурмы и дают дутье – воздух, необходимый для горения топлива. При этом летку оставляют открытой до тех пор, пока не появятся капли расплавленного чугуна. В плавильном поясе – зоне плавления (рис. 1.3) шихта расплавляется и вместе со шлаком чугунный расплав стекает в горн вагранки. Образующиеся при этом газы поднимаются вверх и по пути нагревают металлическую шихту и топливо, а затем уходят в систему подогрева дутья (см. рис.1.2). По мере сгорания кокса и плавления чугуна загружаемая в вагранку шихта опускается, а на ее место загружают сверху новые порции шихтовых материалов.

В процессе плавки чугунный расплав скапливается в горне вагранки. Шлак же, имеющий более низкую плотность, располагается на поверхности расплавленного чугуна. По мере скопления шлак выпускают через верхнюю – шлаковую летку, а накопившийся чугунный расплав – через нижнюю летку (см. рис. 1.3).

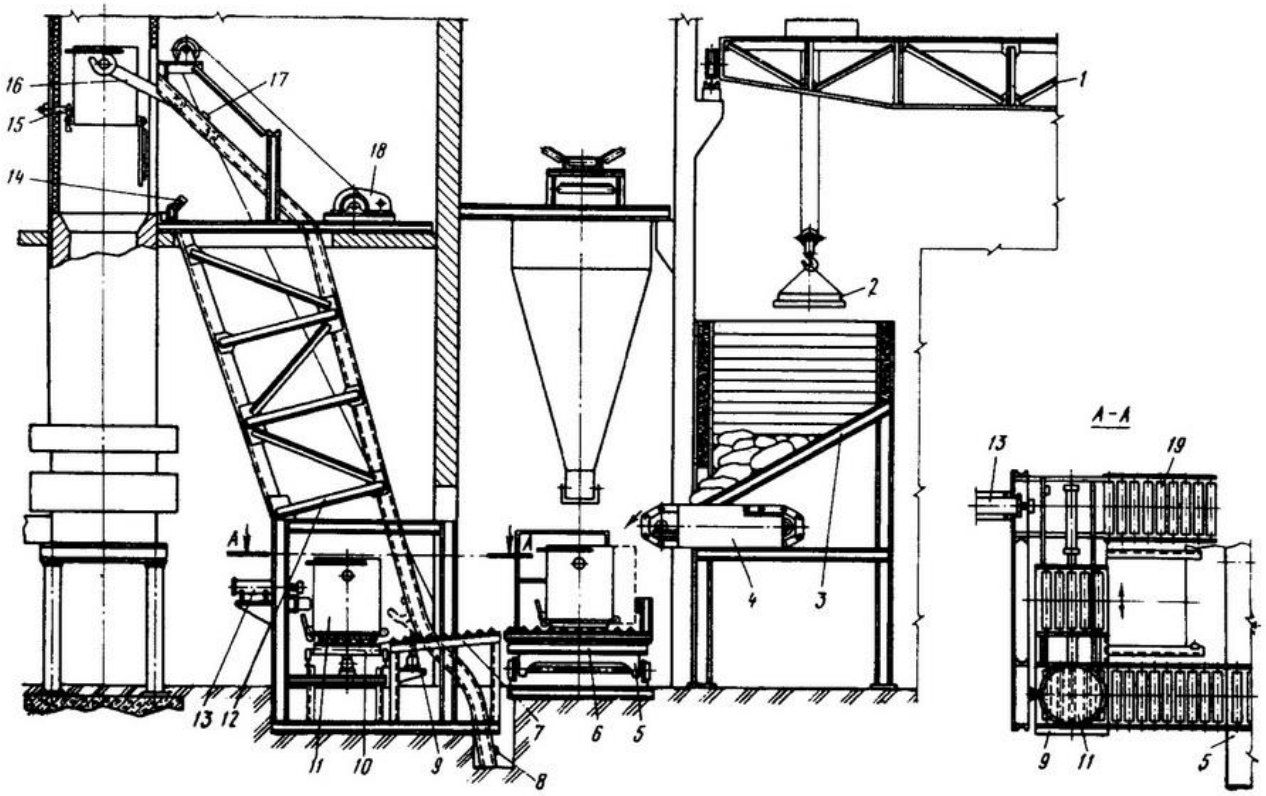


Рис. 1.3. Скиповая загрузка шихты в вагранку:
1 – мостовой электрический кран, *2* – электромагнитная шайба, *3* – суточные бункера, *4* – пластинчатый транспортер. *5* – электровесовая тележка. *6. 7, 19* – приводные рольганги. *8, 17* – конечные выключатели, *9* – упоры *10* – тележка с пневмоприводом. *11* – съемная бадья. *12* – скиповый подъемник. *13* – пневмосталкиватель, *14, 15* – упоры для открывания и закрывания днища вагранки, *16* – скиповая тележка, *18* – электролебедка

При выпуске чугуна отверстие летки пробивают стальным ломиком, после чего расплавленный чугун по желобу направляется в разливочный ковш. После выпуска чугуна отверстие летки заделывают пробкой из огнеупорной глины. Процесс плавки завершается удалением остатков металла и шлака из вагранки через крышку в днище.

Задание по работе

1. Изучить устройство вагранки по видеоматериалу фильма «Способы получения чугуна и стали».

2. Изучить технологический процесс плавки чугуна в вагранке.
3. Вычертить эскиз схемы устройства вагранки без копильника.
5. Состав загружаемой шихты в вагранку.
6. Выделить основные достоинства и недостатки выплавки чугуна в вагранках.
7. Составить отчет по работе.

Порядок проведения работы

1. Студенты внимательно просматривают фильм «Способы получения чугуна и стали»
2. Во время просмотра выполняют зарисовку эскизов общего вида вагранки. Литература**.** См. [1, 2].
3. Важно записать какие материалы используют для загрузки печи, состав шихты и комплекс движений, выполняемых рабочим при обслуживании вагранки.
4. После просмотра фильма студенты самостоятельно изучают теоретический материал, в котором рассмотрены устройство вагранки, материалы плавки и процесс ваграночной плавки.
5. Студент должен сделать вывод о достоинствах и недостатках получения чугуна в вагранках, эффективности производства, а главное – стоимость и качество полученного в вагранке чугуна.
6. Составить отчет по работе.

Содержание отчета

1. Эскиз схемы устройства вагранки без копильника.
2. Описание устройства вагранки с копильником и без копильника.
3. Материалы, используемые при плавке чугуна в вагранке (состав шихты).
4. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Цель работы

1. Изучить принцип работы электрической печи
2. Изучить типы электрических печей
3. Изучить процесс получения стали в плавке с полным окислением и плавку с частичным окислением, а также плавку в кислой дуговой электропечи.
4. Изучить физико-химические процессы, протекающие при плавке стали в электропечах

Краткие сведения о производстве стали в электропечах

Электроплавка – наиболее совершенный способ получения литой стали. Быстрый подъем и точное регулирование температуры, высокий нагрев и возможность создания окислительной и восстановительной атмосферы в плавильном пространстве – все это позволяет выплавлять сталь точного химического состава, с особыми физическими и химическими свойствами.

Электроплавка дает возможность получения высококачественных сталей, содержащих такие тугоплавкие элементы, как вольфрам, ванадий, молибден, расплавление которых в других печах затруднительно.

В настоящее время большинство сортов специальных сталей выплавляется в электропечах. В текущей пятилетке будет продолжаться повышение удельного веса производства электростали.

Работа электропечей.

Электропечи могут работать как на жидкой, так и на твердой шихте. Работа на твердой шихте (лом, стружка, отходы проката) в основных печах является наиболее распространенной. Процесс плавки включает: 1) расплавление шихты; 2) окисление примесей; 3) раскисление стали; 4) удаление серы; 5) доводку стали до требуемого химического состава.

Расплавление шихты и порядок выгорания примесей в электропечи аналогичен мартеновскому процессу. По мере расплавления ме-

талла происходит окисление железа и содержащихся в нем примесей. В качестве окислителей добавляют железную руду и окалину. После окисления примесей образуются разные химические соединения, которые переходят в шлак. В качестве шлакообразующих материалов в печь вводят известь или известняк и плавиковый шпат – флюорит CaF_2 ($T_{пл}$ = 1378°С).

Современные электрические печи для выплавки стали можно разделить на две группы – дуговые и индукционные.

В *дуговых* печах теплота получается от горения электрической дуги, образующейся непосредственно между электродами (печи с «независимой» дугой) или между электродами и металлической ванной (печи с «зависимой» дугой).

При вертикальном положении электродов *4* (рис. 2.1) электрическая дуга *3* образуется между каждым электродом и металлом *1*.

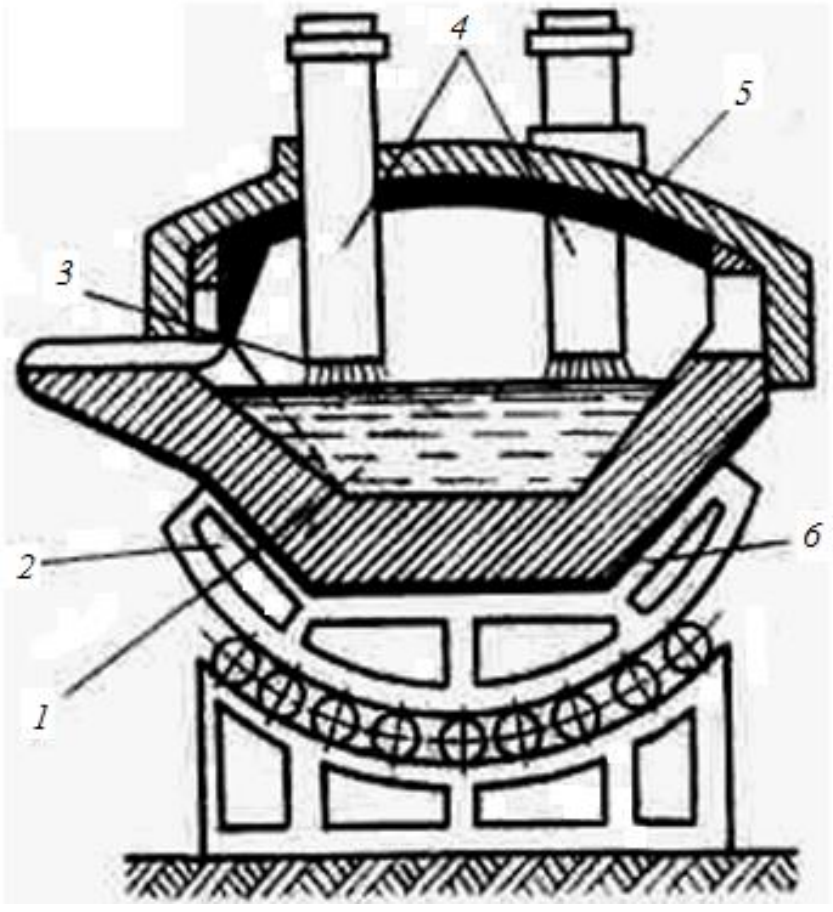


Рис. 2.1. Дуговая электропечь с вертикально расположенными электродами

Металлическая часть шахты служит промежуточным проводником. Печи этого типа получили преимущественное распространение. Такая печь состоит из металлического кожуха цилиндрической фор-

мы с плоским или сферическим дном *6*, а внутри футерована огнеупорными материалами. С помощью особого механизма *2* печь можно устанавливать в наклонное положение. Электроды (угольные или графитовые) проходят через съемочный свод *5*. Диаметр их от 200 до 600 мм, длина до 3 м. Графитовые электроды более устойчивы при высоких температурах, имеют меньшее электросопротивление, чем угольные, и поэтому их применение в печах более целесообразно. Емкость электропечей колеблется от 250 кг до 200 т.

Индукционные печи позволяют получать более чистый металл, чем при плавке в дуговых печах. Принцип их работы основан на выделении тепла при прохождении тока через проводник. Таким проводником является сама металлическая шихта. Преимущественное распространение получили бессердечниковые печи, часто называемые *высокочастотными* (рис. 2.1).

Через индуктор *1*, представляющий собой обмотку из медной трубки, охлаждаемой внутри водой, пропускается ток, возбуждающий в окружающем пространстве переменное магнитное поле. Это магнитное поле возбуждает индукционные токи в металле *3*, заключенном в ванну *2*.

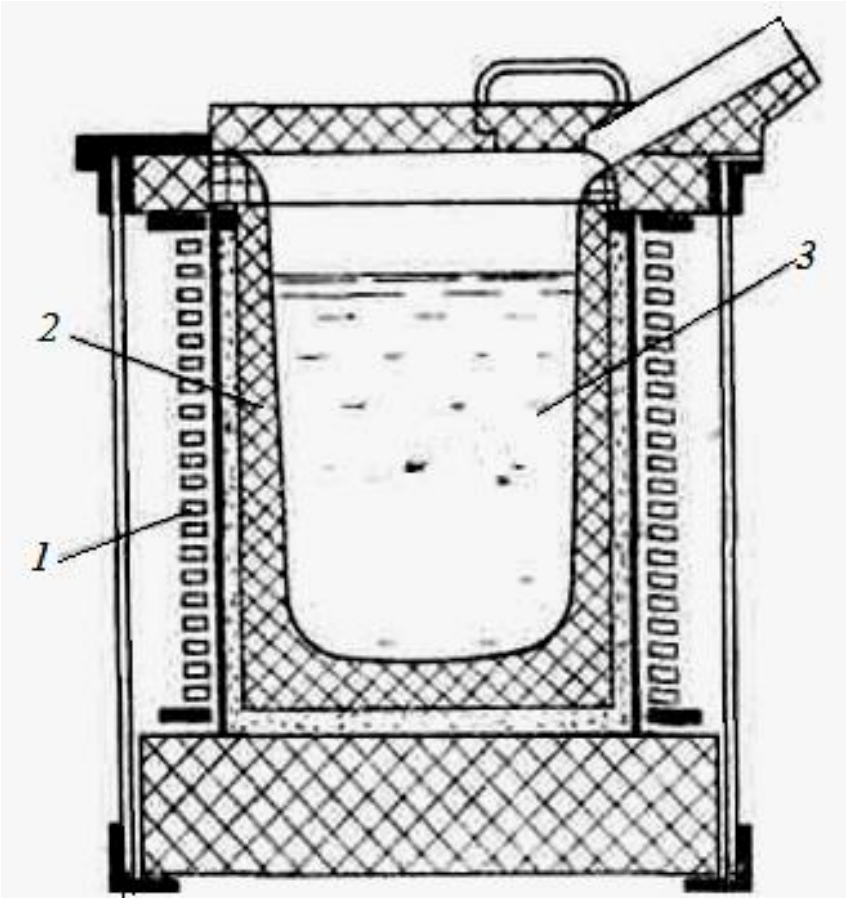


Рис. 2.2. Высокочастотная печь

Под влиянием наведенных токов металл прогревается. Емкость высокочастотной печи от 50 кг до 60 т. Печи промышленного типа питаются переменным током от мотор-генераторов, работающих на частоте 500 – 2500 Гц. Применяются также ламповые и искровые генераторы.

Индукционные печи 'удобны тем, что не требуют электродов, благодаря чему предотвращается опасность науглероживания металла и упрощается управление печью. Кроме того, под действием магнитного потока (магнитных силовых линий) усиливается циркуляция металла, что очень важно для ускорения химических реакций и получения однородного металла.

Получение стали в электропечах. В зависимости от футеровки различают *кислые* и *основные* электропечи. Собственно все виды передела чугуна на жидкую сталь являются процессами рафинирования, заключающимися в том, что находящиеся в чугуне в качестве примесей элементы (углерод, кремний, марганец и др.) подвергаются окислению кислородом воздуха или соединениями, легко отдающими кислород. При этом получаются газообразные или жидкие окислы, не растворяющиеся в металле или растворяющиеся в очень ограниченном количестве. Газообразные соединения уходят в атмосферу, а жидкие образуют шлаки, всплывающие благодаря меньшему удельному весу на поверхность металла и таким образом отделяющиеся от него.

При кислом процессе нельзя удалить серу и фосфор (требуются чистые исходные материалы). В основных электропечах эти элементы удаляются легко, поэтому основные печи применяются для получения высококачественных сортов стали. Кислые же печи применяются главным образом для получения стальных фасонных отливок.

Плавка в основной электропечи начинается с расплавления загруженного скрапа и чугуна.

По ходу выгорания примесей различают несколько вариантов плавки:

1) с полным окислением;
2) с частичным окислением;
3) без окисления.

Плавка с полным окислением применяется, когда в шихте содержится значительное количество фосфора и других примесей. В этих условиях примеси не успевают выгореть за время расплавления и для ускорения процесса окисления в ванну добавляют железную

или марганцевую руду. Введение марганцевой руды предохраняет ванну от перенасыщения окислами железа. MnO_2 разлагается с образованием Mn_3O_4, которая при соединении с углеродом дает CO по реакции

$$Mn_3O_4 + 4C \rightarrow 3Mn + 4CO.$$

Вследствие выделения CO ванна «кипит». Процесс получения стали распадается на несколько периодов.

В течение *окислительного периода* (кипа) происходит удаление из металла фосфора и значительной части газов (поглощаемых металлом во время расплавления). В процессе расплавления происходит окисление фосфора с образованием $(CaO)_4 \cdot P_2O_5$. Одновременно идет окисление Mn, Si, C. Продукты окисления примесей образуют шлак. После образования шлака берут пробу металла, если в пробе окажется значительное количество фосфора, то шлак «скачивают». Скачивание (дефосфация) необходимо для предупреждения перехода фосфора обратно в металл. Когда металл окажется достаточно чистым по содержанию фосфора, удалением «чёрного» шлака заканчивается окислительный период плавки.

После этого начинается *восстановительный период,* во время которого, кроме раскисления металла, производят десульфурацию и доводят химический состав стали до заданного состава. При плавке с полным окислением окисляется значительное количество углерода, и содержание его в металле понижается. Для повышения содержания углерода до нужного предела ванну науглероживают (на поверхность металла забрасывают куски малосернистого кокса, бой электродов и т. д.). Одна часть углерода идет на восстановление растворенной в металле FeO, а другая расплавляется в металле.

При дуговой электроплавке металла, в отличие от мартеновской и конверторной, раскисление ванны производится не столько за счет присадки раскислителей, сколько за счет раскислительного шлака. Различают два вида раскислительного шлака: белый (известковый) и карбидный. Для получения белого шлака в печь на поверхность ванны забрасывают шлаковую смесь: 76% CaO, 19% CaF_2 и 5% кокса.

Белый шлак обеспечивает наиболее полное удаление серы:

$$FeS + C + C\,O = CaS + CO + Fe;$$

$$MnS + C + CaO = CaS + CO + Mn.$$

Элемент CaS, образуемый в ходе этих реакций, нерастворим в металле и уходит в шлак.

Доводка и окончание плавки заключается в присадке в печь небольшого количества раскислителей – ферросилиция и алюминия.

Легирующими примесями являются Ni, Mo, Cr, W, V. Никель и молибден окисляются в меньшей степени и вводятся до полного раскисления ванны, хром и вольфрам – в уже раскисленную ванну, а ванадий – перед выпуском металла. Плавка с полным окислением производится только для получения стали с малым содержанием углерода.

Плавка с частичным окислением. Для получения фасонного литья чаще применяют *плавку с частичным окислением.* Единственным источником кислорода при такой плавке служат ржавчина или окалина железного лома и проникающий в печь воздух. Применяется этот способ, когда содержание фосфора в шихте лишь незначительно выше допустимого в готовом металле, так что для окисления фосфора достаточно тех окислов железа, которые имеются в ванне после расплавления. При частичном окислении выгорает лишь кремний, а фосфор, марганец и углерод в большей или меньшей степени остаются в металле.

Плавка без окисления производится при восстановительном режиме на чистом по сере и фосфору и незаржавленном ломе. Это, по существу, переплавка чистого скрапа, и ведется она главным образом при наличии в скрапе хрома, вольфрама и других ценных примесей для получения соответствующих сталей. Руды при этом в ванну не подают и шлак не спускают.

Таблица 1.

Продолжительность плавки *T* (ч) и расход электроэнергии *Q* (кВт ч/т) в зависимости от емкости и условий работы электропечи

Емкость печи, кг	Двукратное шлакование		Однократное шлакование		Без спуска шлака	
	T	*Q*	*T*	*Q*	*T*	*Q*
500	2,0/3,63	700/1450	1,68/3, 32	588/1330	1,33/3,00	465/1200
	3,15/7,22	324/868	2,57/6,63	265/795	2,08/6,05	219/725

Примечание. В числителе – данные для жидкой шихты, в знаменателе – для твердой.

Плавка в кислой дуговой электропечи протекает подобным образом, но имеет свои особенности:

1) футеровка – динасовый кирпич;

2) сера и фосфор не удаляются, печь работает без спуска шлака,

который в основном состоит из силикатов железа и марганца;

3) раскисление ведется присадками, роль шлака заключается в связывании FeO и MnO кремнеземом. В конце процесса идет восстановление кремния, способствующее раскислению ванны.

Технико-экономическая характеристика дуговых печей. Продолжительность плавки в дуговой электропечи зависит от ее емкости, от вида футеровки, от характера завалки и сорта выплавляемого металла. Большие печи работают экономичнее, чем малые, так как они имеют меньший расход электроэнергии на 1 т годного литья и большую производительность одного агрегата (табл. 2). В кислых печах плавка идет быстрее, чем в основных. Угар металла при твердой завалке составляет 5 – 8%, при жидкой – 2%. Нормальный выход годного литья 91 – 92%.

Из табл. 2 следует, что производительнее и дешевле работать на жидкой шихте, которая к тому же требует меньше материалов на огнеупорную футеровку. Учитывая экономичность больших электропечей, в эксплуатацию вводятся печи емкостью 200 т.

Пути совершенствования электроплавки стали. *Применение кислорода* позволяет в ряде случаев (например, при изготовлении нержавеющей стали в дуговых печах) увеличить производительность печи на 15 – 25% и снизить удельный расход электроэнергии на 20 – 30%, а расход электродов на 5 – 10%.

Плавка в вакууме – один из основных способов получения особо качественных металлов и сплавов. При таком способе значительно снижается содержание в металле газовых включений (O_2, N_2, H_2) и улучшается качество стали. Некоторое повышение стоимости металла окупается тем, что из него можно изготовлять более прочные конструкции меньших габаритов. Для плавки под вакуумом индукционная печь размещается в герметически изолированной камере, из которой откачивается воздух. В таких печах плавка идет при вакууме, равном тысячным долям миллиметра ртутного столба.

Электрошлаковый переплав осуществляется в электропечах сопротивления (рис. 2.3). В обычных печах сопротивления нагревательным элементом (стержнем, спиралью) является материал, обладающий высоким электросопротивлением, в результате чего элемент разогревается при прохождении через него тока. Таким элементом

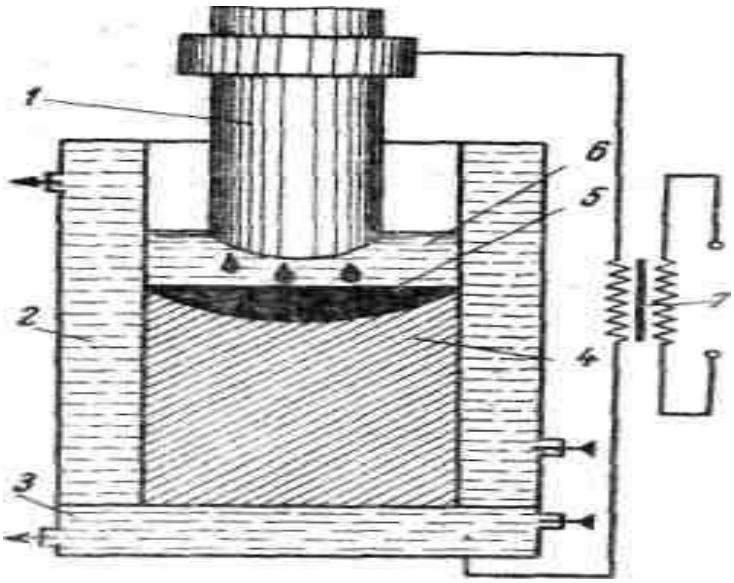


Рис. 2.3. Электропечь сопротивления:
1 – расходуемый электрод; *2* – кристаллизатор; *3* – поддон; *4* – слиток;
5 – жидкий металл; 6 – шлак; *7* – трансформатор

сопротивления в печах для электрошлакового переплава (ЭШП) является ванна расплавленного шлака. Опущенный в нее расходуемый электрод, отлитый из стали, подвергаемой рафинированию, плавится, капли металла проходят через шлак, дегазируются, очищаются от примесей и застывают в нижней части, образуя слиток. Флюс для ЭШП имеет различный состав, например; CaF_2 – 65%; $A1_2O_3$ – 30%; CaO – 5%. Способ ЭШП применяется для получения стали с особо высокими характеристиками.

Порядок выполнения работы

1. Повторяется материал по темам «Выплавка в дуговых печах», «Выплавка в индукционных электропечах» раздела «Производство сталей в электропечах».
2. Просмотр фильма «Способы получения чугуна и стали»
3. Во время просмотра выполняется зарисовку эскизов общего вида электрической печи. **Литература.** См. [1, 2].
4. После просмотра фильма студенты самостоятельно изучают теоретический материал, в котором рассмотрены различные типы электропечей.
5. Перечислить материалы, используюемые для загрузки печи и комплекс движений, выполняемых рабочим при обслуживании

электрической печи.

6. Начертить эскизы для отчета – дуговую, высокочастотную и электропечь сопротивления.
7. Изучить принцип работы электропечи.
8. Ознакомиться с разновидностями электрической плавки.
9. Изучить электрошлаковый переплав и его отличительные особенности.
10. Привести основные отличия выплавки стали в электрических печах от мартеновского способа и от конверторного способа получения стали.
11. Составить отчет по работе.

Содержание отчета

1. Эскиз дуговой, высокочастотной и электропечи сопротивления.
2. Описание принципа работы электропечи.
3. Формулы физико-химических процессов выплавки стали с полным окислением.
4. Основные отличия выплавки стали в электрических печах от мартеновского способа и от конверторного способа получения стали.
5. Выводы и предложения о достоинствах и недостатках получения стали в электропечах, эффективности производства, а главное – стоимости и качества полученной в электропечах стали.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.
ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ И ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКИ

Цель работы

1. Изучить технологию холодной объемной и листовой штамповки
2. Изучить особенности применения холодной объемной и листовой штамповки
3. Изучить оборудование и материалы, применяемые при холодной объемной и листовой штамповке
4. Изучить инструмент, применяемый при холодной объемной и листовой штамповке
5. Изучить ограничения применения методов холодной объемной и листовой штамповки

Краткие сведения о штамповке

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла.

Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов.

Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую штамповку.

Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка.

Высадка – образование на заготовке местных утолщений требуемой формы в результате осадки ее конца (рис. 3.1).

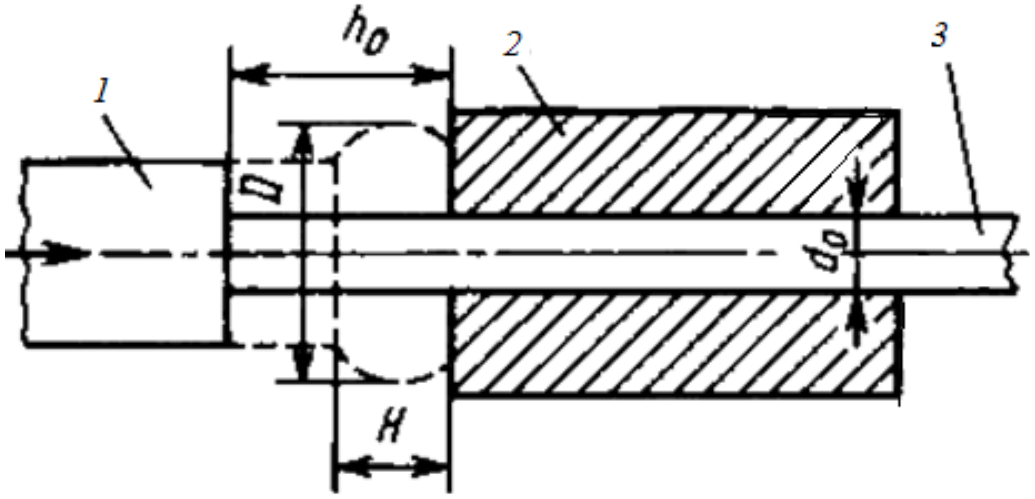


Рис. 3.1. Схема высадки

Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка из черных или цветных металлов. Высадкой изготавливают стандартные и специальные крепежные изделия, кулачки, валы-шестерни, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т.д.

Длина высаживаемой части (h_0) рассчитывается с учетом объема требуемого утолщения (V) по формуле: $h_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d_0^2}$. Расчет числа переходов производится, в основном, по соотношению длины высаживаемой части (h_0) и диаметра заготовки (d_0), которое характеризует устойчивость к продольному изгибу. При $\frac{h_0}{d_0} < 2{,}3$ используют один переход, при $\frac{h_0}{d_0} < 5$ – два перехода, при $\frac{h_0}{d_0} < 8$ – три перехода. При большом количестве переходов происходит упрочнение металла, поэтому требуется отжиг.

Последовательность переходов изготовления деталей показана на рис. 3.2.

Высадка осуществляется на прессах, горизонтально-ковочных машинах, автоматических линиях, оснащенных холодновысадочными пресс-автоматами.

Выдавливание – формообразование сплошных или полых изделий, благодаря пластическому течению металла из замкнутого объема через отверстия соответствующей формы.

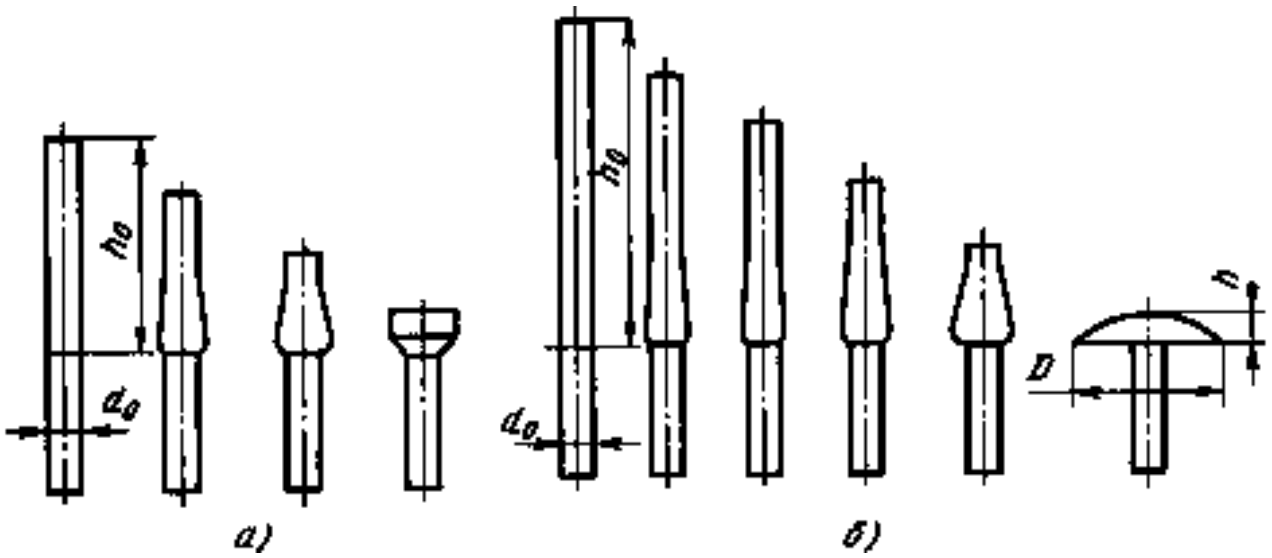


Рис. 3.2. Последовательность изготовления детали:
а – за три перехода; *б* – за пять переходов

Особенностью процесса является образование в очаге деформации схемы трехосного неравномерного сжатия, повышающего технологическую пластичность материала.

Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание (рис. 3.3).

При *прямом* выдавливании металл течет из матрицы *2* в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона *1* (рис. 3.3, *а*, 3.3,*б*). Этим способом можно получить детали типа стержня с утолщением, трубки с фланцем, стакана с фланцем.

При *обратном* выдавливании металл течет в направлении, противоположном направлению движения пуансона, в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей для получения полых деталей с дном (рис. 3.3, *в*) или в полый пуансон для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. 3.3, *г*).

При *боковом* выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона (рис. 3.3, *ж*). Таким образом, можно получить детали типа тройников, крестовин и т.п. Для обеспечения удаления заготовок из штампа матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отростка.

При *комбинированном* выдавливании металл течет по нескольким направлениям (рис. 3.3, *д*, 3.3, *е*). Возможны сочетания различных схем.

Заготовки для выдавливания отрезают от прутков или вырубают из листа. Размер заготовок рассчитывают с учетом потерь на последующую обработку. Форма заготовки и ее размеры для полых деталей без фланца соответствуют наружным размерам детали; для деталей с фланцем – диаметру фланца; для деталей стержневого типа – размерам головки.

Выдавливание можно осуществлять и в горячем состоянии.

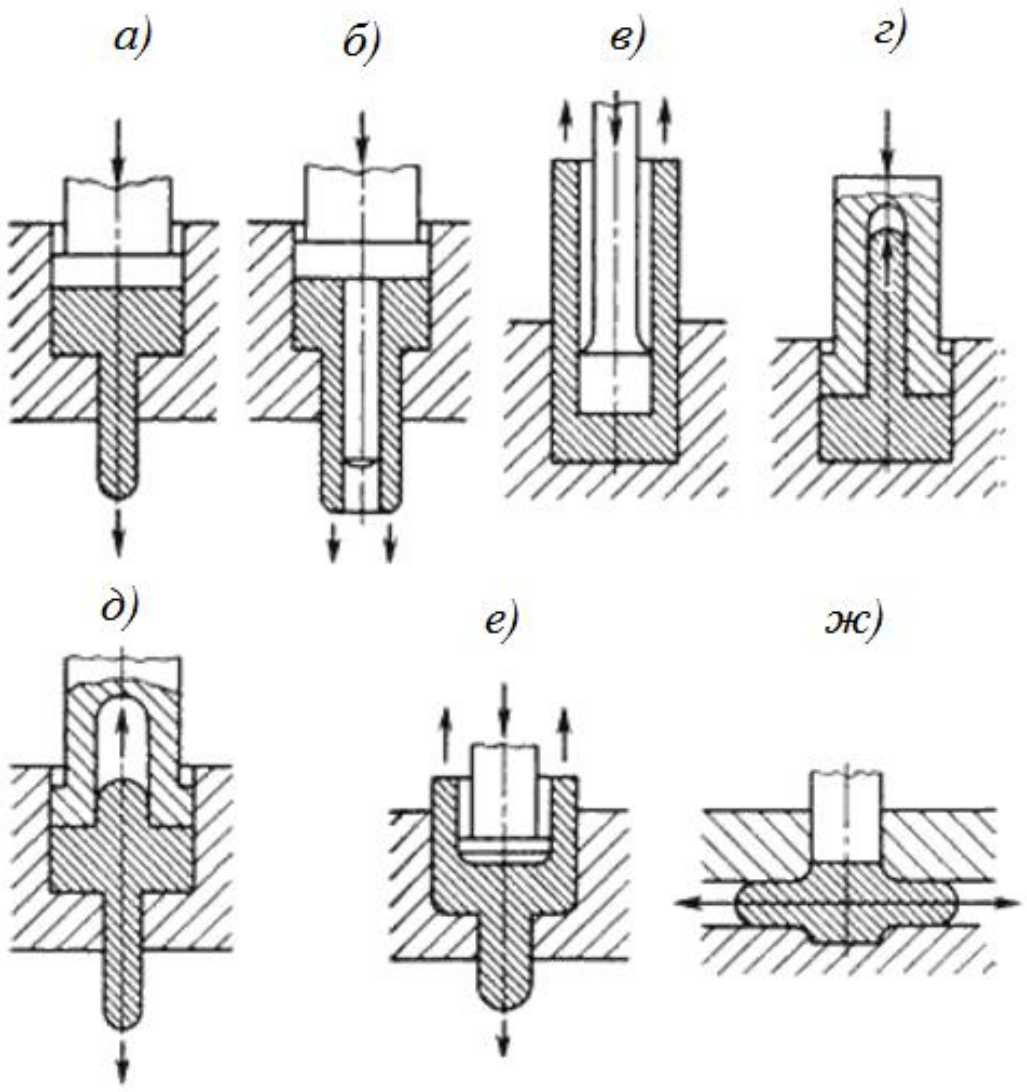


Рис. 3.3. Схемы выдавливания
а, б – прямого; *в, г* – обратного; *д, е* – комбинированного; *ж* – бокового

Объемная формовка – формообразование изделий путем заполнения металлом полости штампа.

Схемы объемной формовки представлены на рис. 3.4.

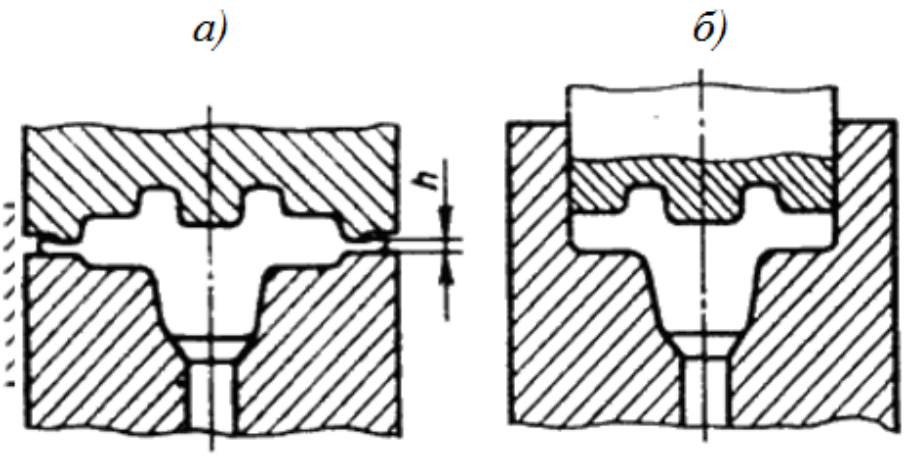


Рис. 3.4. Схемы объемной формовки
а – в открытых штампах; *б* – в закрытых штампах

Она производится в открытых штампах, где излишки металла вытекают в специальную полость для образования облоя (рис. 3.4, *а*), и в закрытых штампах, где облой не образуется (рис. 3.4, *б*). Формовку в закрытых штампах применяют реже из-за больших сложности и стоимости получения заготовок точного объема, необходимости использования более мощного оборудования и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах получают в основном детали из цветных металлов.

Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей.

Заготовкой служит полоса или пруток, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок.

В качестве оборудования используют прессы, однопозиционные и многопозиционные автоматы.

Чеканка – образование рельефных изображений на деформируемом материале.

Чеканка осуществляется в закрытых штампах на чеканочных фрикционных и гидравлических прессах.

При холодной штамповке коэффициент использования материала достигает 95%. При холодном деформировании формируется благоприятная ориентированная волокнистая структура металла, что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет получать конструкции с меньшими размерами и металлоемкостью, чем у конструкций, полученных обработкой резанием, не снижая при этом их надежность. Но для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что делает целесообразным ее применение только в массовом и крупносерийном производствах.

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей).

Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др.

Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;

- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30000 … 40000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам придают форму и размеры детали.

Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки.

Различают *разделительные* операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением, и *формообразующие* операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования. При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными эксплуатационными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы состоят из рабочих элементов – матрицы и пуансона, и вспомогательных частей – прижимов, направляющих, ограничителей и т.д. Пуансон вдавливается в деформируемый металл или охватывается им, а матрица охватывает изменяющую форму заготовку и пуансон.

Операции листовой штамповки

Разделительные операции предназначены или для получения заготовки из листа или ленты, или для отделения одной части заготовки от другой. Операции могут выполняться по замкнутому или по незамкнутому контуру.

Отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением этих частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение вначале характеризуется пластическим деформированием, а завершается разрушением.

Отрезка – отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах – ножницах или в штампах.

Обычно ее применяют как заготовительную операции для разделения листов на полосы и заготовки нужных размеров.

Основные типы ножниц представлены на рис. 3.5.

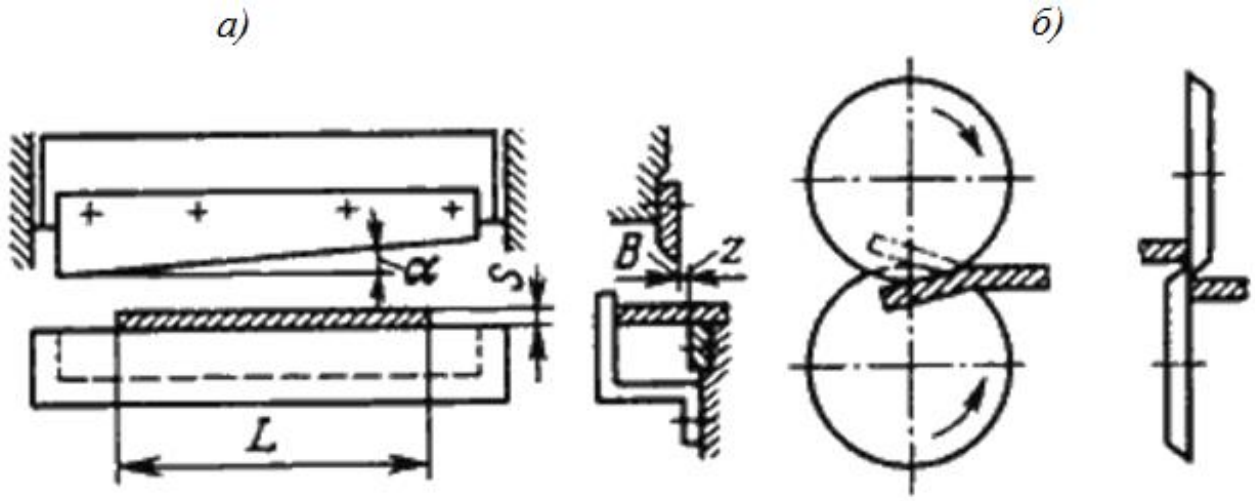


Рис. 3.5. Схемы действия ножниц
а – гильотинных; *б* – дисковых

Ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа могут быть с параллельными ножами, для резки узких полос, с одним наклонным ножом – гильотинные (рис. 3.5, *а*). Режущие кромки в гильотинных ножницах наклонены друг к другу под углом 1 … 5° для уменьшения усилия резания. Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы *B*. Длина отрезаемой полосы *L* не должна превышать длины ножей.

Ножницы с вращательным движением режущих кромок – дисковые (рис. 3.5, *б*). Длина отрезаемой заготовки не ограничена инструментом. Вращение дисковых ножей обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки под действием сил трения. Режущие кромки ножей заходят одна за другую, это обеспечивает прямолинейность линии отрезки. Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть в 30 … 70 раз больше толщины заготовки, увеличиваясь с уменьшением коэффициента трения.

Вырубка и *пробивка* – отделение металла по замкнутому контуру в штампе.

При вырубке и пробивке характер деформирования заготовки одинаков. Эти операции отличаются только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон вдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. Схема процессов вырубки и пробивки представлена на рис. 3.6.

Основным технологическим параметром операций является радиальный зазор между пуансоном и матрицей z. Зазор z назначают в зависимости от толщины (S) и механических свойств заготовки, он приближенно составляет (0,05 … 0,1)S. При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размер пуансона равен размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их.

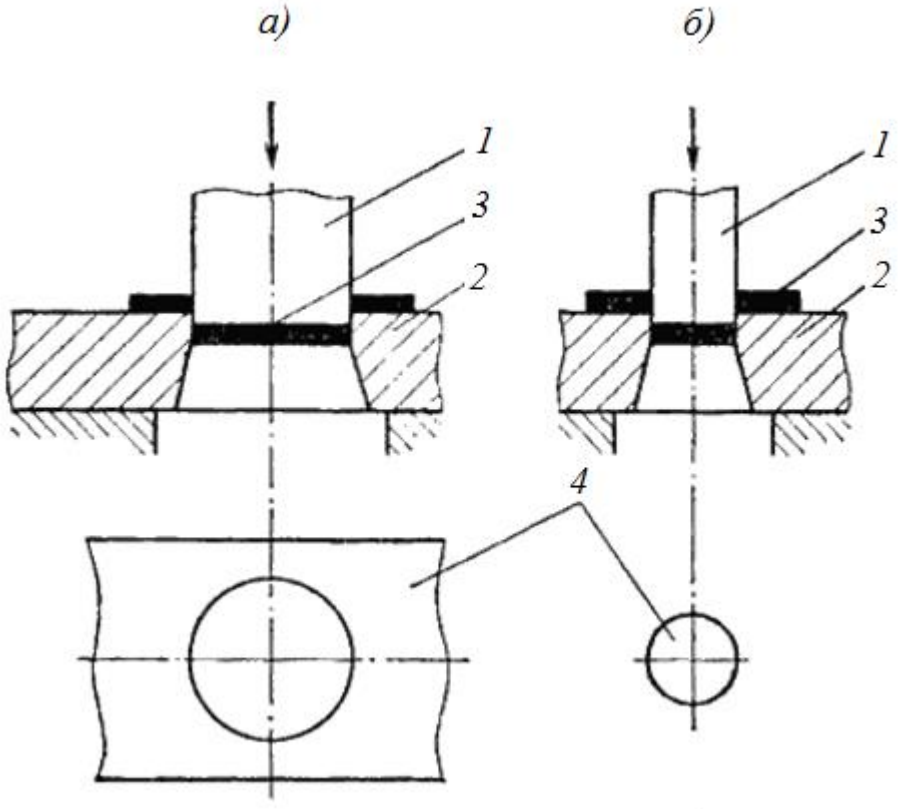


Рис. 3.6. Схема процессов вырубки (*а*) и пробивки (*б*)
1 – пуансон, *2* – матрица, *3* – изделие, *4* – отход

Уменьшение усилия резания достигается выполнением скоса на матрице при вырубке, на пуансоне – при пробивке.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей из одной листовой заготовки вырубают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубаемых заготовок оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки. В отдельных случаях смежные заготовки вырубают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента).

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называется раскроем. Часть заготовки, оставшаяся после вырубки – высечкой.

Высечка составляет основной отход при листовой штамповке. Тип раскроя следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку (рис. 3.7).

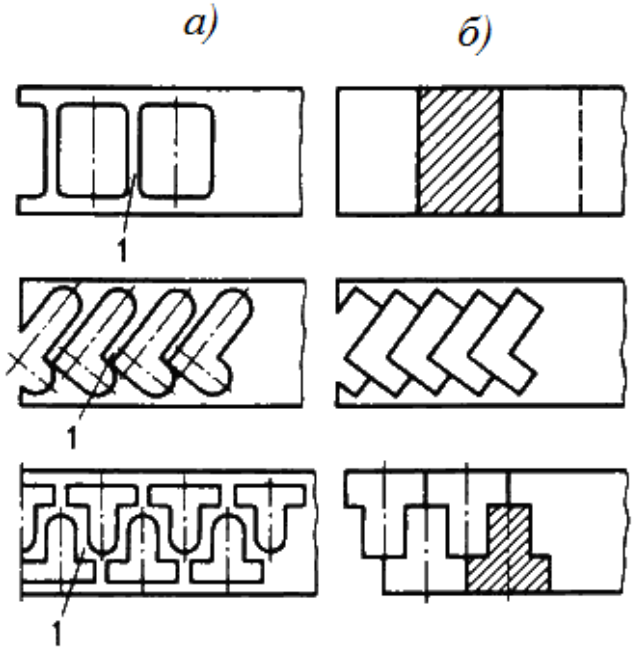


Рис. 3.7. Примеры раскроя материала с перемычками (*а*) и (*б*) без перемычек

Экономия металла может быть получена: уменьшением расхода металла на перемычки, применением безотходного и малоотходного раскроя, повышением точности расчета размеров заготовки и уменьшением припусков на обрезку.

Порядок выполнения работы

1. Повторяется материал по темам «Горячая и холодная пластическая деформация. Влияние на структуру и свойства» раздела «Обработка металлов давлением».

2. Просмотр фильма «Холодная объемная и листовая штамповка»
3. Во время просмотра выполняется зарисовка эскизов общего вида инструмента и оборудования, применяемого при холодной объемной и листовой штамповки. **Литература.** См. [1, 2].
4. Отмечаются материалы, используемые для холодной объемной и листовой штамповки, и комплекс движений, выполняемых рабочим при обслуживании оборудования.
5. После просмотра фильма самостоятельно изучается теоретический материал, в котором рассмотрены различные виды холодной объемной и листовой штамповки.
6. Изучаются принципы пластической деформации.
7. Изучить основной закон холодной объемной и листовой штамповки.
8. Составить отчет о проделанной работе.

Содержание отчета

1. Эскиз схемы выдавливания, схемы объемной штамповки, схемы процессов вырубки и пробивки.
2. Эскизы применяемого инструмента при холодной объемной и листовой штамповке.
3. Указать основные отличия штампов при холодной объемной и листовой штамповке
4. Записать основной закон холодной объемной и листовой штамповки.
5. вывод о достоинствах и недостатках холодной объемной и листовой штамповки, эффективности производства, а главное – стоимость и качество полученной при холодной объемной и листовой штамповки продукции.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫВ ДВУХ ОПОКАХ

Цель работы

1. Изучить свойства и состав формовочных и стержневых смесей.
2. Изучить модельно-опочную оснастку, инструменты и приспособления, применяемые при формовке.
3. Изучить технологический процесс изготовления литейной формы.

Исходные данные

Чертеж детали

Основные положения

Литейное производство – отрасль машиностроения, производящая литые изделия из различных металлов и сплавов. Сущность его состоит в получении литых заготовок – *отливок* – путем заливки расплавленного металла в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки.

В машинах и промышленном оборудовании около 50 % всех деталей изготавливают литьем. Например, доля литых деталей в кузнечном молоте составляет 90 %, в металлорежущих станках – 80 %, в автомобилях и тракторах – 55 %.

Все способы литья разделяют на две группы:

- Литье в песчано-глинистые формы.
- Специальные способы литья, куда относится литье в металлические формы, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, центробежное литье и другие способы.

Литьем в песчано-глинистые формы изготавливают до 80 % всех отливок.

Свойства формовочных смесей

Для получения отливок высокого качества формовочные смеси, из которых делают разовые литейные формы, должны обладать опре-

деленными свойствами.

Прочность – способность смеси обеспечивать сохранность формы без разрушения при ее изготовлении и при заливке металла.

Пластичность – способность смеси воспроизводить очертание модели.

Газопроницаемость – способность пропускать газы через стенки формы. Газы вытесняются из полости формы при заливке жидкого металла. При недостаточной газопроницаемости в отливке могут образоваться газовые поры.

Термохимическая устойчивость, или ***непригораемость***, – способность смеси не взаимодействовать с жидким металлом. Пленки пригара ухудшают качество поверхности отливки и затрудняют последующую обработку на металлорежущих станках.

Формовочная смесь состоит из следующих компонентов:

- Глина (связующее) – 8-10 %
- Кварцевый песок (наполнитель) – 84-88 %
- Каменноугольная пыль (противопригарная добавка) – 0,5-1 %
- Вода – остальное

Свойства стержневых смесей

Стержни служат для образования отверстий в отливках. Они работают в более тяжелых условиях под воздействием расплавленного металла и поэтому должны обладать повышенной прочностью.

Состав стержневой смеси: глина – 4- 6 %, кварцевый песок – 90-92 %, вещества, обеспечивающие дополнительную прочность (сульфидная барда, жидкое стекло или синтетическая смола) – 2-3 %, вода – 3-4 %.

После изготовления стержни подвергаются просушке при 150 – 280°С. При этом смола затвердевает, и стержень приобретает повышенную прочность.

Технологический процесс изготовления разовой литейной формы

1. В литейном цехе завода изготавливают формовочную и стержневую смеси.

2. В технологическом бюро по чертежу *детали* (рис. 4.1) разрабатывают чертеж *отливки* (см. рис. 4.2).

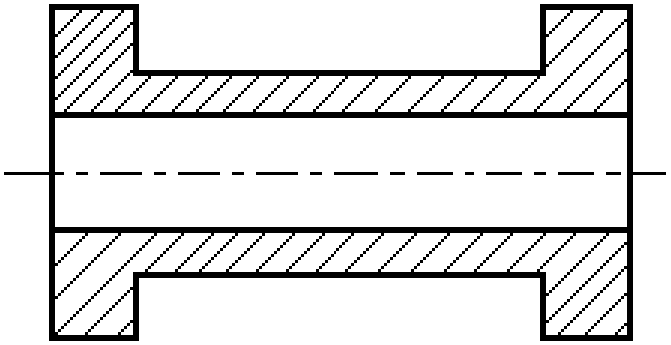


Рис. 4.1. Эскиз детали

При разработке чертежа отливки определяется ***припуск на механическую обработку*** **и** ***припуск на усадку*** **при кристаллизации и охлаждении отливок.** Предусматриваются литейные уклоны, которые служат для удобства извлечения модели из формы без ее разрушения, и ***галтели*** – скругления углов отливки для предотвращения образования трещин в этих местах.

Выбирается линия разъема модели и формы.

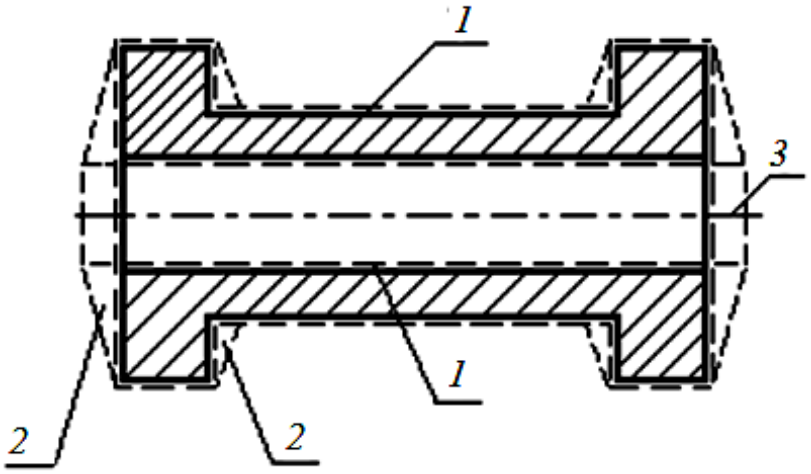


Рис. 4.2. Пример изображения отливки:
1 – припуск на механическую обработку и усадку; *2* – литейные уклоны;
3 – плоскость разъема

3. По чертежу отливки в модельном отделении изготавливается *модель* отливки (рис. 4.3) и стержневой ящик.

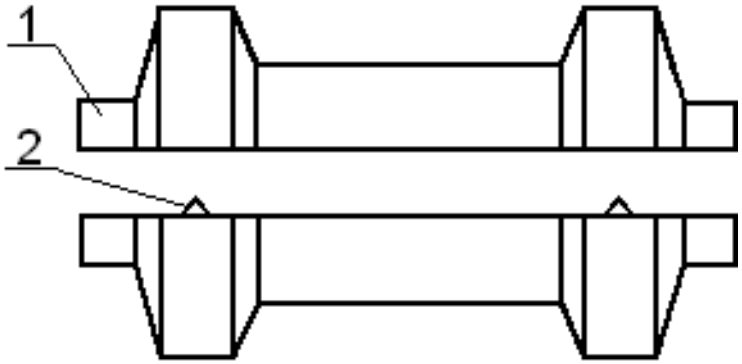


Рис. 4.3. Чертеж модели:
1 – стержневые знаки; *2* – фиксаторы

4. В полости стержневого ящика из стержневой смеси изготавливается стержень (рис. 4.3).
5.

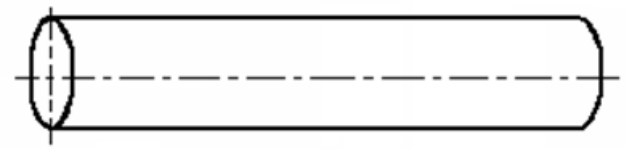


Рис. 4.4. Стержень

Технология формовки

5. На подмодельную плиту *4* (рис. 4.5) устанавливается половина модели (без фиксаторов) *3* и ставится нижняя опока *2*. Поверхность модели покрывается тонким слоем модельной пудры (графита) для того, чтобы к ней при формовке не прилипала формовочная смесь. Для удержания пудры на поверхности модели модель смачивают керосином или соляркой. В опоку засыпается формовочная смесь *1* и уплотняется с помощью трамбовок.
6. Готовая полуформа поворачивается на 180º. Устанавливается вторая половина модели по фиксаторам. Устанавливается верхняя опока, и жестко фиксируется взаимное положение опок.

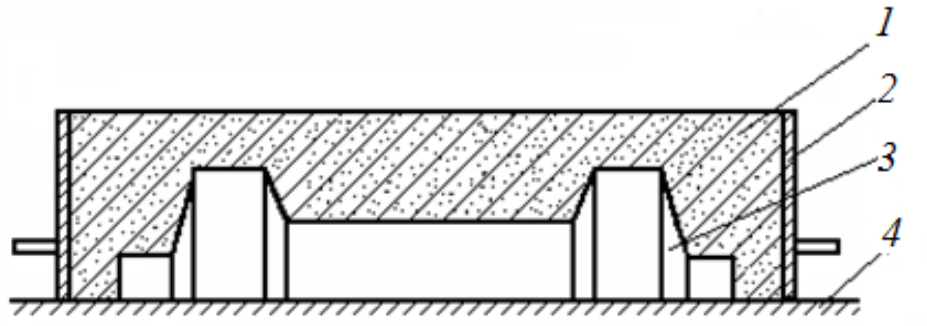


Рис. 4.5. Изготовление нижней полуформы:
1 – формовочная смесь; *2* – опока; *3* – модель; *4* – подмодельная плита

Разъем литейной формы присыпается песком. Устанавливается модель стояка литниковой системы, производится засыпка и уплотнение формовочной смеси (рис. 4.6).

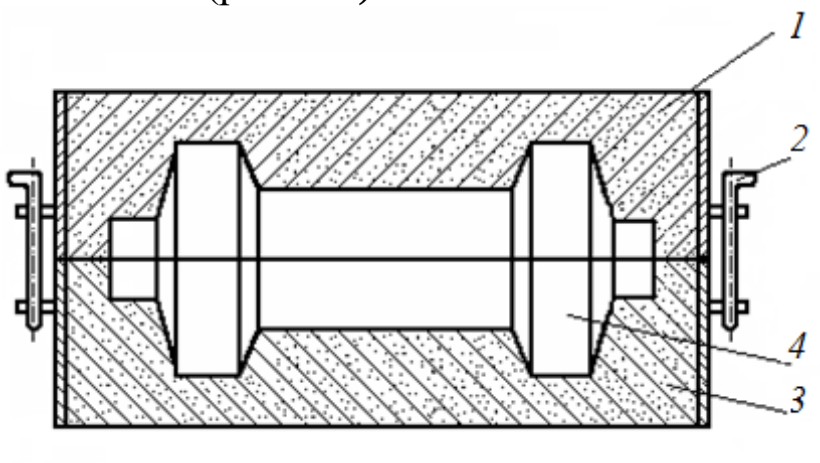


Рис. 6. Изготовление верхней полуформы:
1 – верхняя опока; *2* – устройство для центрирования опок;
3 – нижняя опока; *4* – модель

7. Удаляется модель стояка и начинается оформление *литниковой системы* (см. рис. 4.7): прорезается литниковая чаша. Накалываются вентиляционные каналы.
8. Верхняя опока с набитой в ней формовочной смесью снимается с нижней опоки. Удаляется модель. Прорезаются питатель и шлакоуловитель – части литниковой системы.
9. ,Сборка формы. Перед сборкой литейная форма осматривается, заделываются местные разрушения, из полости формы и литниковой системы удаляют частицы формовочной смеси. После укладки стержней верхняя половина формы устанавливается на нижнюю, и форма готова для заливки металла (рис.4.8).

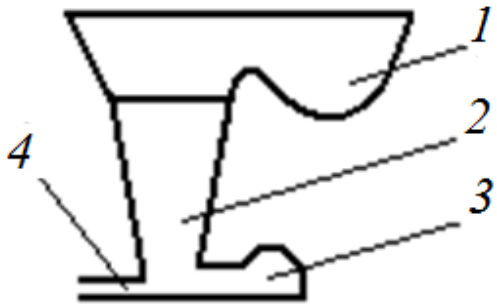


Рис. 4.7. Литниковая система:
1 – литниковая чаша; *2* – стояк; *3* – шлакоуловитель; *4* – питатель

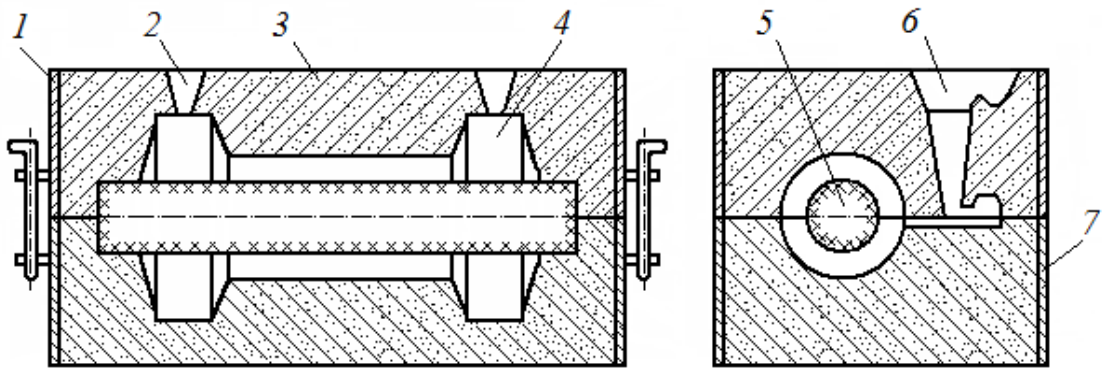


Рис. 4.8. Литейная форма в сборе:
1 – верхняя опока; *2* – вентиляционный канал (выпор); *3* – формовочная смесь; *4* – полость формы; *5* – стержень; *6* – литниковая система; *7* – нижняя опока

Содержание отчета

Отчет должен содержать основные данные о формовочных и стержневых материалах и о модельно-опочной оснастке. Особое внимание следует обратить на описание технологического процесса изготовления литейной формы с пояснениями, эскизами операций.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные способы литья.
2. Роль литейного производства в машиностроении (примеры).
3. Перечислите свойства формовочной смеси.
4. Что такое прочность и пластичность формовочной смеси?
5. Зачем нужны газопроницаемость и термохимическая устойчивость формовочной смеси?
6. Состав формовочной смеси.
7. Условия работы стержня и состав стержневой смеси.
8. Чем отличается чертеж отливки от чертежа детали?
9. Что такое модель, стержень, опоки? Для чего они нужны?
10. Устройство литниковой системы.
11. Перечислите операции изготовления литейной формы.
12. Из каких частей состоит литейная форма в сборе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ
(ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ И ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ)

Цель работы

1. Познакомиться с методами литья: в металлические формы (кокили) и по газифицируемым моделям.
2. Изучить макроструктуру и определить ударную вязкость отливок, полученных литьём в кокиль и литьём по газифицируемым моделям.

Материалы и оборудование

1. Заливаемый сплав – силумин (сплав алюминия с кремнием).
2. Формовочная смесь.
3. Кокиль – металлическая литейная форма.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными сведениями по литью в кокиль и по газифицируемым моделям.
2. Выполнить экспериментальную часть.
3. Проанализировать полученный материал и сделать необходимые выводы.

Основные положения

1. Литьё в металлическую форму (кокиль)

Кокиль – металлическая литейная форма, которая обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла и формирования отливки. Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов.

Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьём в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаемого в них сплава: чем ниже температура заливаемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе исключается применение формовочной

смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок с высокими механическими свойствами. Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров с небольшими припусками на механическую обработку. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится высокая трудоёмкость изготовления и стоимость кокилей.

Существует опасность образования внутренних напряжений в отливке из-за отсутствия податливости металлической формы. В поверхностном слое кокильных чугунных отливок образуется структура цементита, что затрудняет их механическую обработку, поэтому необходима термическая обработка (отжиг) отливок.

В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производстве.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки металлические формы делятся на неразъёмные и разъёмные.

В **неразъёмных формах** вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки). На рис. 5.1 изображена неразъёмная вытряхиваемая форма. Ее применяют для получения простых отливок,

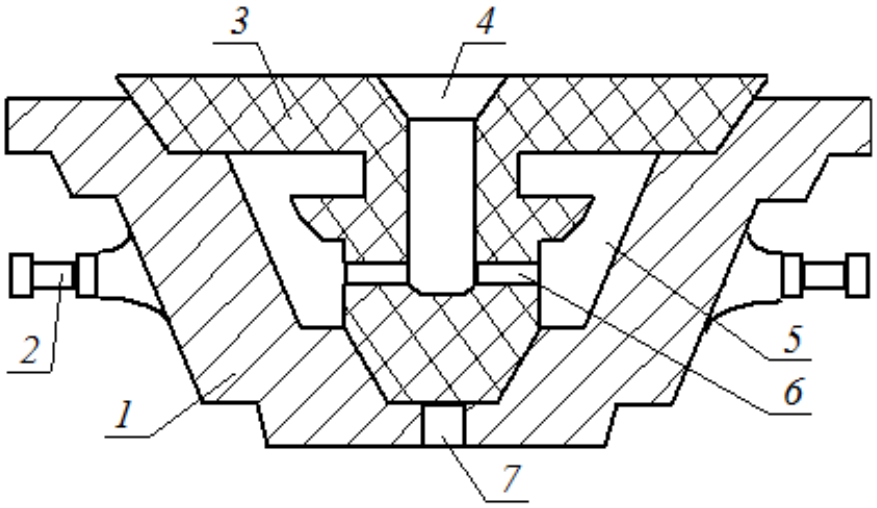


Рис. 5.1. Вытряхиваемая неразъёмная форма:
1 – корпус формы, *2* – цапфа для поворота формы при выбивке отливки, *3* – песчаный стержень, *4* – литниковая чаша со стояком, *5* – полость формы, *6* – питатели, *7* – вентиляционный канал

имеющих достаточные уклоны на боковых стенках (плиты, коробки и т. п.).

Внутреннюю и внешнюю поверхности отливки в неразъёмном кокиле формируют при помощи стержней. Литниковая система делается внутри стержня. Такие металлические формы обычно закрепляются при помощи цапфы на специальных стойках. После заливки производится поворот формы на 180° и удаляется (вытряхивается) отливка вместе со стержнем.

Разъёмные формы состоят из двух или более частей и, в свою очередь, разделяются на формы с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостями разъёма (см. рис. 5.2, 5.3).

Металлическую форму с горизонтальным разъёмом (рис. 5.2) применяют для таких же отливок, как и в неразъёмной форме, но с более сложной верхней поверхностью, образуемой рабочей частью верхней половины формы.

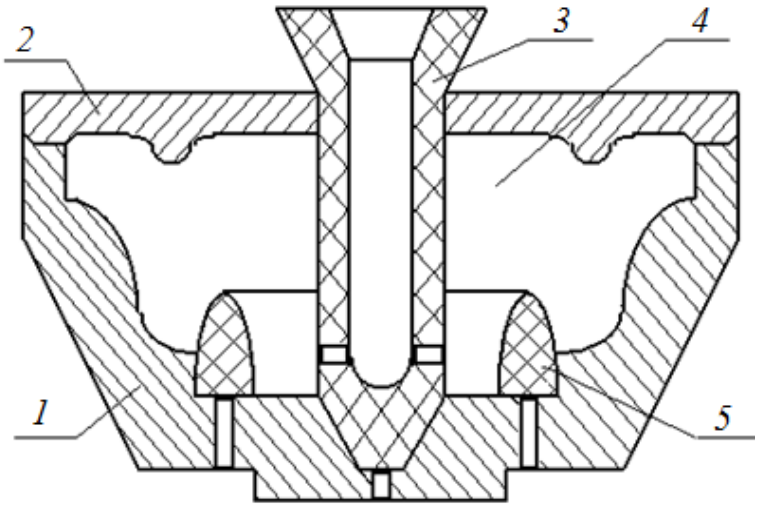


Рис. 5.2. Кокиль с горизонтальным разъёмом:
1 – нижняя часть формы, *2* – верхняя часть формы, *3* – центральный песчаный стержень, *4* – полость формы, *5* – нижний кольцевой стержень

Металлические формы с вертикальным разъёмом (рис. 5.3) применяют для изготовления более разнообразных и сложных отливок (корпусные детали, литые блоки цилиндров автомобильных двигателей, крупные поршни, крышки с массивными фланцами и т. д.). Металлические формы с комбинированным разъёмом применяют для отливки сложных по конфигурации деталей. Внутреннюю конфигурацию и отверстия в отливках получают с помощью стержней, песчаных или металлических.

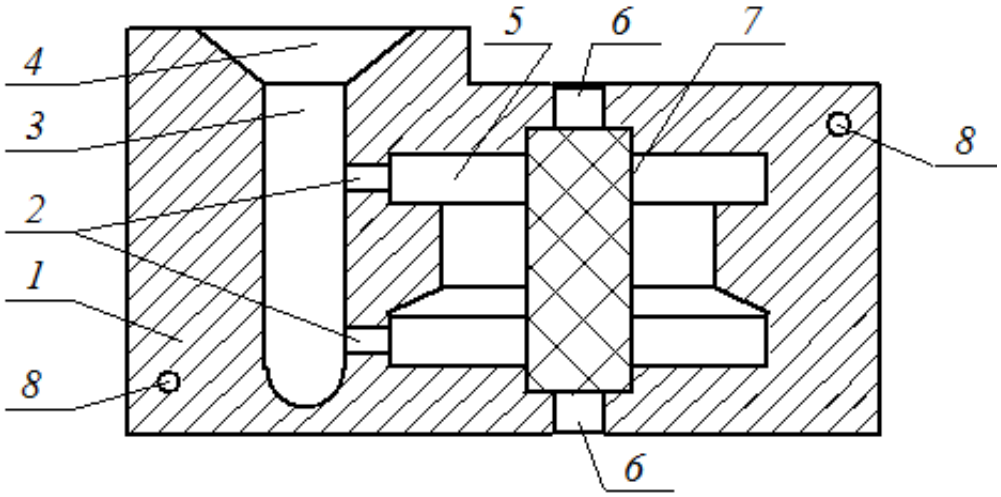


Рис. 5.3. Металлическая форма с вертикальным разъёмом, с песчаным стержнем: *1* – левая половина формы, *2* – каналы-питатели, *3* – стояк литниковой системы,*4* – литниковая воронка, *5* – полость формы, *6* – вентиляционные каналы,*7* – песчаный стержень, *8* – центрирующие отверстия

Песчаные стержни применяют для отливок из стали и чугуна. Они обладают повышенной податливостью, газопроницаемостью и огнеупорностью. Однако чистота внутренней поверхности отливок хуже, чем при применении металлических стержней.

Металлические стержни применяют для сплавов с низкой температурой плавления, таких как алюминиевые, магниевые и др. Металлические стержни, не обеспечивающие свободной усадки отливки при охлаждении, обычно удаляются из отливки сразу после затвердевания, т. е. перед выбивкой всей отливки из формы. Для удаления газов из кокиля по линии разъёма изготавливают газовые каналы и выпоры. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2-0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования упрочнённого слоя на их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их приготовляют из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой пыли, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфидного щёлока и др.).

Механизировать и автоматизировать процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. В этих машинах автоматизируют следующие технологические операции: открывания и закрывания кокилей, установку и удаление метал-

лических стержней и выталкивание отливки из кокиля.

В металлических формах получают отливки чугунные от 10 г до 15 т, стальные от 0,5 г до 5 т и из цветных металлов (медных, алюминиевых, магниевых) от 4 г до 400 кг.

2. Литьё по газифицируемым моделям

Очень часто возникает необходимость в разовых, единичных отливках тех или иных деталей. В этих случаях по традиционной технологии приходится предварительно делать деревянные модели для получения наружного отпечатка в литейной форме и стержневые ящики для образования внутренних полостей отливки. Трудоёмкость изготовления модельных комплектов в три – пять раз превышает трудоёмкость изготовления самой отливки. Для её уменьшения и снижения себестоимости разовых отливок новаторы судостроительной верфи г. Николаева предложили делать модели не из дерева, а из пенополистирола, который газифицируется расплавленным металлом. В последние годы использование пенополистирола в качестве модельного материала получает всё большее распространение. Использование пенополистирола (пенопласта) обеспечивает возможность получения различных отливок в неразъёмных формах без извлечения модельных комплектов из форм, без формовочных уклонов и с минимальными припусками на механическую обработку (рис. 5.4).

Пенополистирол – материал легко формирующийся, а это значит, что из него можно изготовить модели сложной конфигурации.

При литье по газифицируемым моделям для изготовления моделей применяется бисерный пенополистирол в виде гранул, в замкнутых ячейках которых содержится порошкообразный наполнитель (легкоплавкий компонент).

При этом для газифицируемых моделей (рис. 5.5) применяют пенополистирол с объёмной массой 0,015-0,025 г/см^3. Пенополистирол с б***о***льшим удельным весом не содержит количества воздуха, необходимого для его сжигания, такой пенополистирол лишь расплавляется, не сгорая, тем самым заполняет часть формы и приводит к браку при отливке детали. Пенополистирол с меньшим удельным весом при формовке деформируется, что приводит к искажению формы и размеров отливки.

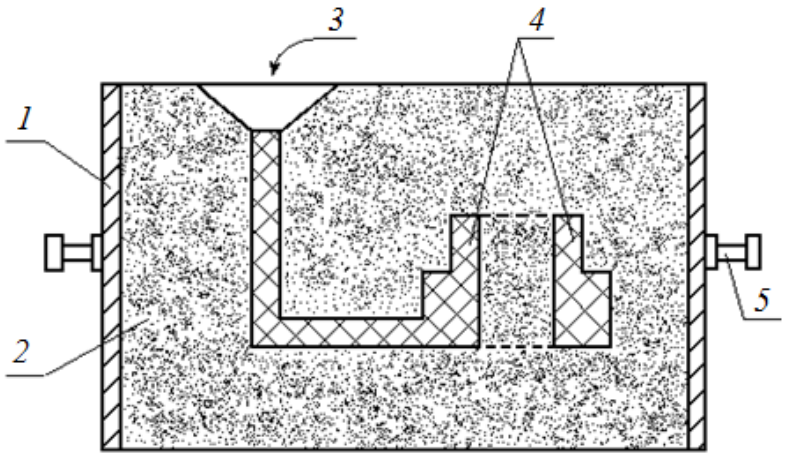


Рис. 5.4. Неразъёмная форма с пенополистироловой моделью:
1 – опока, *2* – формовочная смесь, *3* – расплавленный сплав,
4 – модель из пенополистирола (пенопласта), *5* – цапфы

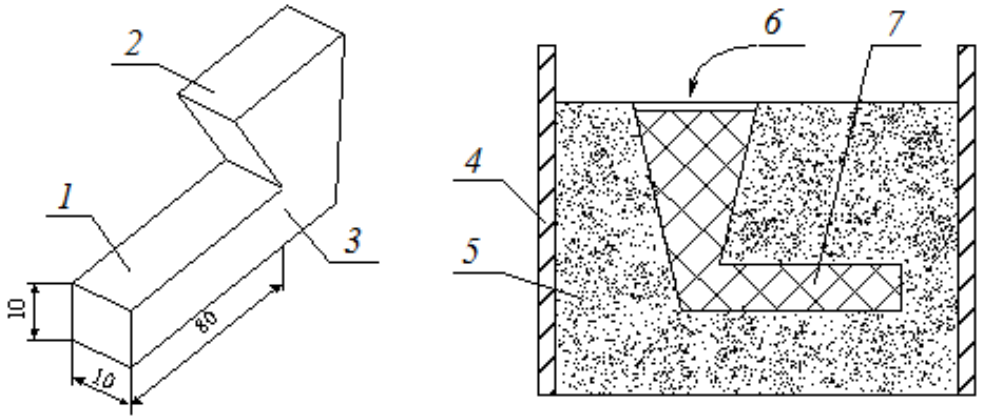


Рис. 5.5. Пенополистироловая модель для изготовления испытуемого образца и её расположение в опоке:
1, 7 – пенополистироловая модель, *2* – литниковая система, *3* – линия отрезки литниковой системы от детали, *4* – опока, *5* – формовочная смесь,
6 – заливка расплавленного металла

Применение пенополистироловых моделей сокращает трудоёмкость формовочных работ на 80 %, объём обрубных и зачистных работ на 70 %. Достоинство пенополистироловых моделей – их способность не усыхать и не набухать от влаги. Это исключает коробление при транспортировке и, особенно, хранении. При отливке деталей сложной конфигурации внешних и внутренних обводов, модель может быть изготовлена частями, которые собираются во время формовки.

К недостаткам литья по газифицируемым моделям нужно отнести, прежде всего, большое выделение газа при сгорании модели, что при неправильном ведении заливки (заливка должна вестись с опре-

делённой скоростью) и при плохой газопроницаемости формовочной смеси ведёт к образованию газовых пор в отливках, уменьшающих их прочность.

Другим существенным недостатком пенопластовой модели является потеря точности при уплотнении формовочной смеси из-за податливости пенополистирола. Решить эту проблему можно с помощью электромагнитного поля и замены формовочной смеси железными опилками. На дно опоки, вставленной внутрь соленоида, присоединённого к сети переменного тока, насыпают слой железного порошка, ставят на него пенопластовую модель с литниковой системой и засыпают её доверху тем же железным порошком (опилками), затем включают ток, превращающий железный порошок в монолит, и заливают расплавленный металл, мгновенно сжигающий пенопласт. Как только отливка чуть затвердеет, ток выключают, и форма вновь становится порошком.

На установке успешно отливались магниевые блоки для автомобильных двигателей, причём качество не уступало кокильному литью. Отсутствие дорогостоящих кокилей, простота и универсальность магнитных форм с использованием газифицируемых моделей позволили снизить себестоимость продукции ровно вдвое.

Задание и методические указания по выполнению работы

1. Подготовить кокиль под заливку. Для этого необходимо зачистить внутреннюю полость кокиля от пригаров, окалины и старой огнеупорной смазки, а затем смазать полость кокиля огнеупорной смазкой. Собрать половинки кокиля и прогреть до 100–300°С.

2. Подготовить формовочную смесь для формовки. Для этого её необходимо разрыхлить, удалить металлические включения в виде капель и приливов. Формовочная смесь должна быть совершенно сухой.

3. Заформовать пенопластовые модели в формовочную смесь.

4. Проследить за заливкой металла, выполняемой мастером, и за остыванием отливок, засекая время по часам.

5. Отделённые от литниковой системы образцы подвергнуть испытанию на ударную вязкость с помощью маятникового копра и результаты свести в таблицу. Объясните причины различия результатов испытаний ударной вязкости.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Материалы и оборудование.
3. Описать (кратко) способы литья в кокиль и по газифицируемым моделям (обязательно включить в отчёт рис. 4, 6).
4. Краткий вывод по результатам работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое кокиль и для чего он предназначен?
2. Какие преимущества у литья в кокиль по сравнению с литьём в песчаные формы?
3. Какие недостатки имеет литьё в кокиль?
4. Назовите область применения кокильного литья.
5. Какими бывают металлические формы в зависимости от конфигурации и размеров отливки?
6. В каких формах вся отливка целиком получается в одной форме (типа чашки)?
7. Для чего нужны цапфы?
8. Какие виды разъёмных форм вы знаете?
9. Для изготовления каких отливок применяют металлические формы с горизонтальным разъёмом?
10. Для изготовления каких отливок применяют кокили с вертикальным разъёмом?
11. Что такое стержень, и для чего он служит?
12. Какие виды стержней вы знаете, и для чего они применяются?
13. Что такое газовые каналы и выпоры, и для чего они применяются?
14. Что такое теплоизоляционные покрытия, из чего они состоят и для чего служат?
15. Что такое газифицируемая модель?
16. Каковы преимущества литья по газифицируемым моделям в сравнении с литьём в песчаные формы?
17. Каковы недостатки литья по газифицируемым моделям в сравнении с литьём в песчаные формы?
18. Какой плотности пенополистирол применяется при изготовлении газифицируемых моделей?
19. Что произойдёт, если плотность пенополистирола будет больше или меньше, чем необходимо для нормального процесса литья?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛИВОК

Цель работы

1. Ознакомиться с основными приёмами проектирования литых деталей.

2. Разработать на основе чертежа детали конструкцию отливки и необходимую технологическую оснастку для изготовления песчано-глинистой формы в двух опоках.

Основные положения

В настоящее время основными технологическими процессами получения заготовок деталей машин из металлов и сплавов являются различные способы литья. Наиболее часто применяется метод ***литья в песчано-глинистые разовые формы***. Литейная форма изготавливается обычно в двух опоках. При проектировании формы необходимо соблюдать **основные правила**:

1. Правило расположения отливки в форме с наименьшей высотой;
2. Правило параллельных лучей;
3. Правило вписанных окружностей;
4. Правило назначения галтелей;
5. Правило минимума стержней;
6. Правило необходимости уклонов;
7. Рекомендации по выбору плоскости разъёма.

Когда отливка имеет значительную длину и малое поперечное сечение, то целесообразно располагать её **с наименьшей высотой полости формы** (рис. 6.1). Малая высота формы (рис. 6.1, *б*) экономит формовочный материал. Кроме того, происходит выравнивание механических свойств по сечению отливки из-за малого влияния ликвации по удельному весу.

Ликвация – расслоение компонентов сплава по удельному весу в период остывания расплава. Легкие фракции стремятся вверх, тяжёлые – вниз; поэтому при расположении, показанном на рис. 6.1, *а*, возникает разность механических свойств верхней и нижней частей отливки.

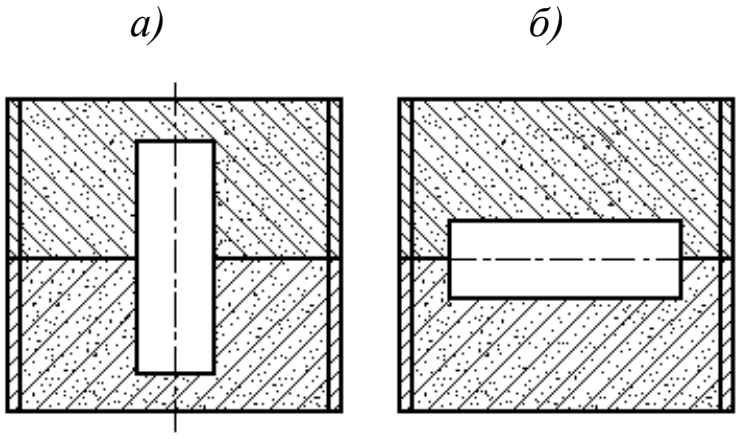


Рис. 6.1. Варианты литейной формы:
а – с вертикальным, *б* – с горизонтальным расположением оси отливки

Поэтому детали, у которых один габаритный размер гораздо больше других, выгодно располагать так, чтобы максимальный размер лежал в горизонтальной плоскости, как показано на рис. 6.2, *а*. Детали с примерно одинаковыми габаритными размерами можно располагать как вертикально (рис. 6.2, *б*), так и горизонтально (рис. 6.2, *в*).

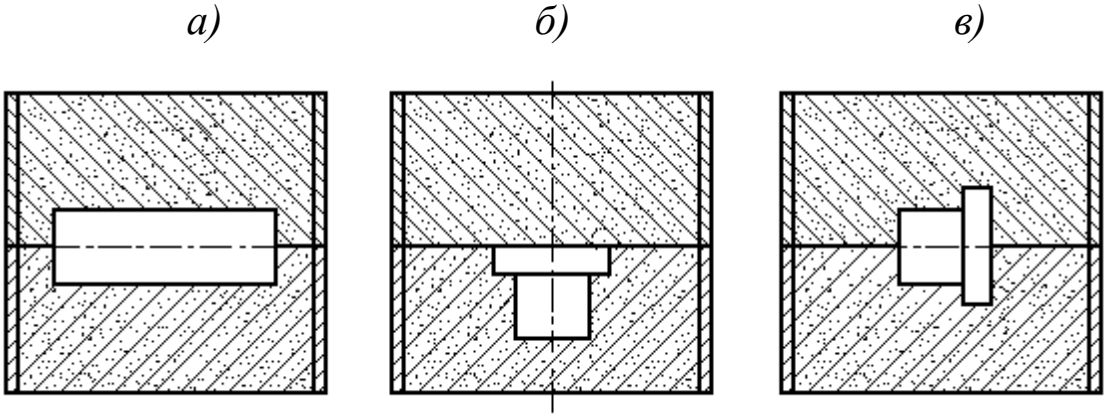


Рис. 6.2. Варианты расположения отливки в литейной форме

От расположения отливки будет зависеть конфигурация внешних обводов. Если необходимо отлить длинный корпус электродвигателя, имеющий рёбра охлаждения (рис. 6.3), то для лёгкого извлечения модели из формы по **правилу параллельных лучей** части отливки не должны давать затенённых участков при направлении на форму параллельных лучей снизу и сверху. Это правило также называют методом теневого рельефа. Мы видим, что на рис. 6.3, *а* это правило не соблюдается, значит, необходимо или изменить конфигурацию рёбер – сделать их параллельными лучам (рис. 6.3, *б*), или поменять расположение отливки на вертикальное.

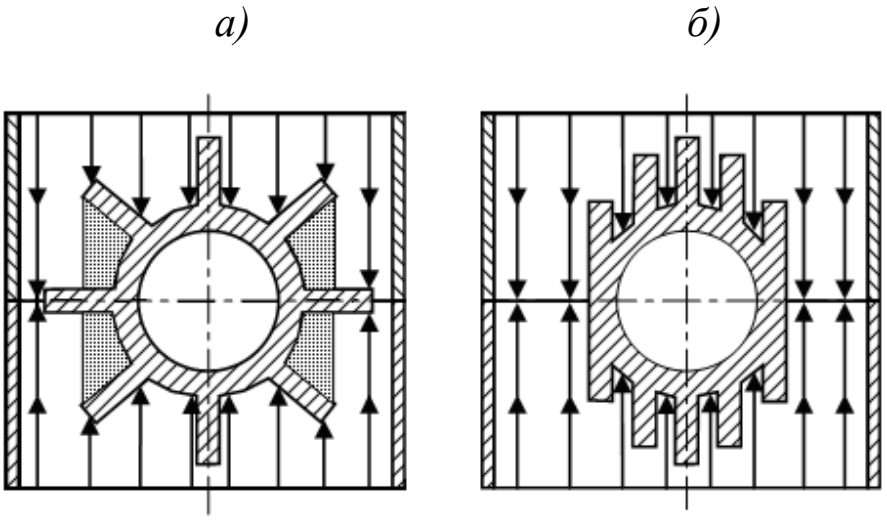


Рис. 6.3. Использование правила параллельных лучей

Вертикальное расположение оси пустотелой отливки в форме выгодно ещё и тем, что стержень, формирующий полость или отверстие в отливке, может иметь 2 и более опоры (рис. 6.4, *б*), т. е. занимает более устойчивое положение в форме, чем при горизонтальном расположении оси (рис. 6.4, *а*).

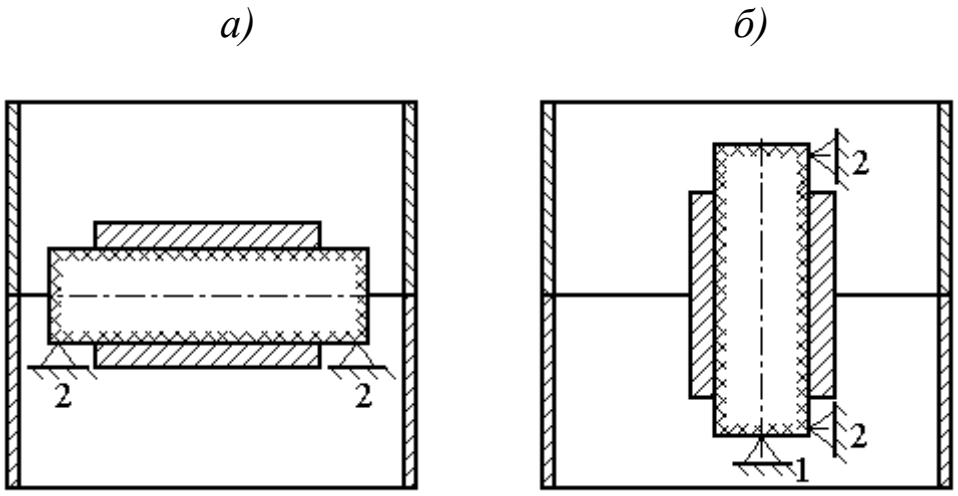


Рис. 6.4. Варианты расположения пустотелой отливки

В основу конструкции литой детали в зависимости от требований должны быть положены принципы направленного или одновременного затвердевания при охлаждении. Направленное затвердевание обеспечивает получение отливок плотных, без усадочных раковин и пористости. Однако это приводит к усложнению формовки. При ***направленном затвердевании*** кристаллизация металла происходит снизу вверх, начиная от тонких сечений отливки в нижней части

формы к более массивным сечениям в верхней части формы. Каждая расположенная выше часть отливки питает жидким металлом нижние части, являясь для них как бы прибылью. Правильность конструкции в этом случае проверяют **методом вписанных окружностей**. При этом окружность, вписанная в любое сечение отливки, должна свободно проходить по любым вышележащим сечениям в направлении кристаллизации (рис. 6.5, *а*).

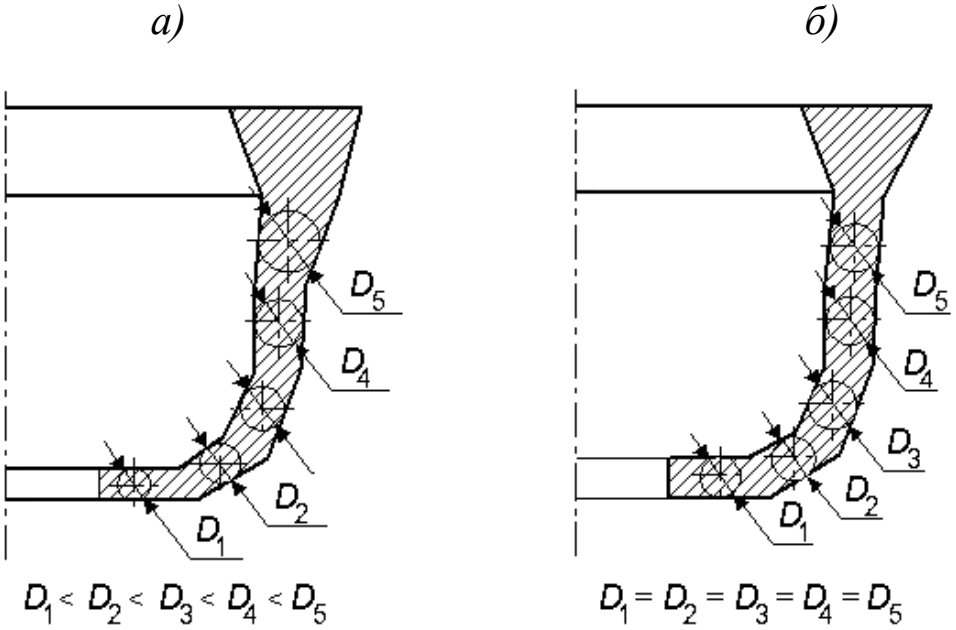


Рис. 6.5. Применение метода вписанных окружностей

Конструирование в соответствии с принципом одновременного затвердевания при охлаждении применяют для мелких и средних тонкостенных отливок, когда к литой детали не предъявляют высоких требований по плотности. Наличие центральной пористости допускается. Отливки, сконструированные с учётом принципа одновременного затвердевания, имеют одинаковую толщину, начиная с нижней и кончая верхней частью детали (рис. 6.5, *б*).

Толщина стенок литых деталей назначается, исходя из требуемой расчётной прочности с учётом жидкотекучести металла. При сопряжении стенок применяют *галтели* (радиусы внутренних закруглений), рис. 6.6.

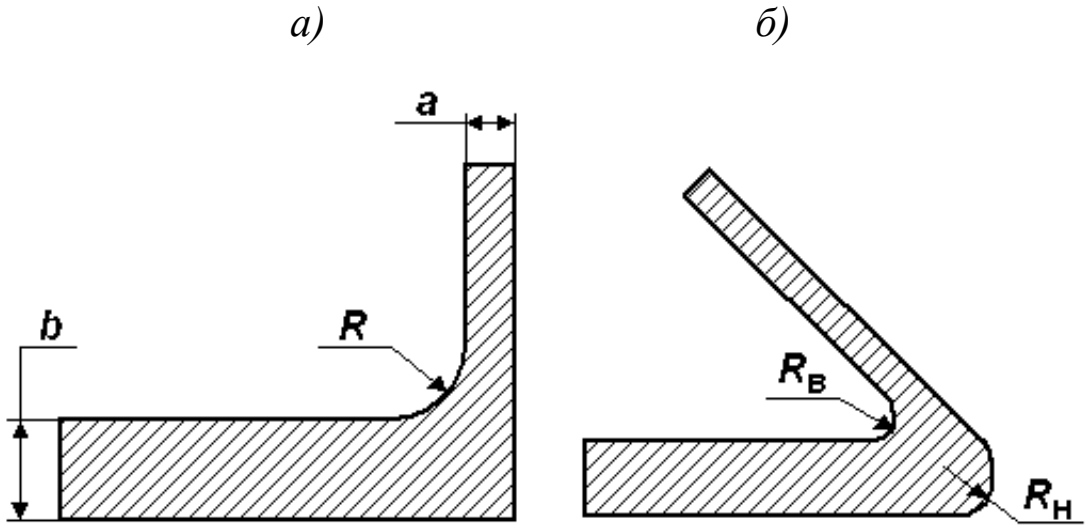


Рис. 6.6. Галтели при сопряжении стенок разной толщины

Галтели применяются для предупреждения образования трещин в углах сопряжения стенок. Радиус галтели (рис. 6.6, *а*) рассчитывается по формуле

$$R = (a + b)/2. \quad (1)$$

Соотношение толщин сопрягаемых стенок отливки не должно превышать двух.

$$b/a \le 2. \quad (2)$$

При угловых сопряжениях стенок для получения плавного перехода делают скругление с внешним радиусом (рис. 6.6, *б*), рассчитанным по формуле

$$R_н = a + b. \quad (3).$$

Внутренние полости и отверстия изготавливают с помощью стержней и «болванов». Внешняя конфигурация стержней повторяет внутренние обводы полости отливки. Стержни изготавливаются в стержневых ящиках. Для образования полостей сложной конфигурации применяют сборные стержни, состоящие из нескольких простых частей (рис. 6.7, *а*). Однако в форме должно быть **как можно меньше стержней**. Если вместо двух стержней *1* и *2* (рис. 6.7, *а*) использовать один стержень 3 (рис. 6.7, *б*), то у него будет три фиксированные точки опоры, в то время как в первом варианте – две и одна точка опоры. Кроме того, увеличение количества стержней усложняет и удорожает технологический процесс изготовления литейной формы и снижает точность отливки.

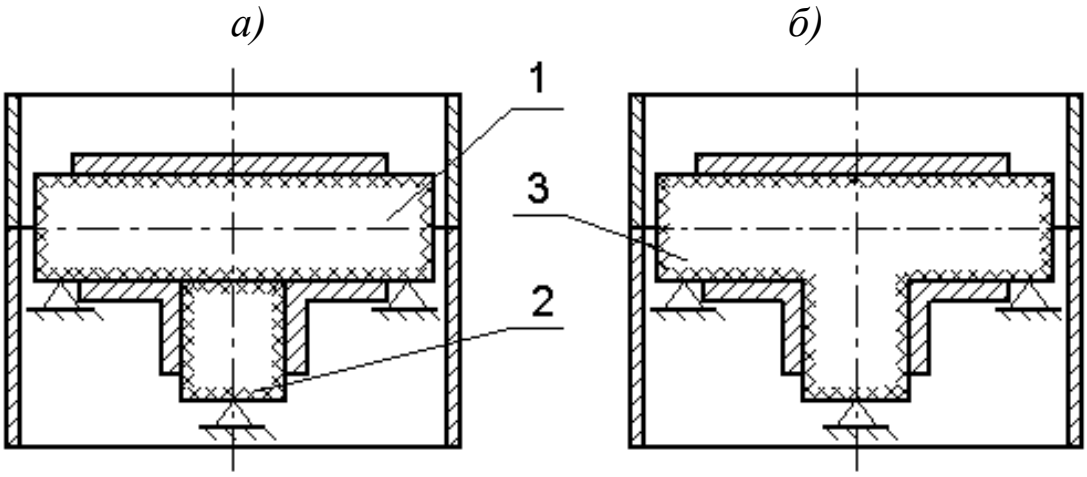


Рис. 6.7. Применение правила минимума стержней

Стержни, применяемые при изготовлении глухих полостей отливки, имеют всего одну опору, и поэтому могут потерять устойчивость. При сборке они могут упасть в полость формы, что приведёт к засорению расплава и нарушению конфигурации формы. Для устойчивости одноопорных стержней изготавливается искусственная опора *2* (жеребейка), которая устанавливается между стержнем *1* и стенками формы (рис. 6.8).

Жеребейка – металлический стержень, имеющий химический состав, близкий по составу к сплаву, из которого отливается деталь. Применение жеребеек крайне нежелательно, так как они являются источниками образования дефектов в отливках (газовые раковины, несвариваемость).

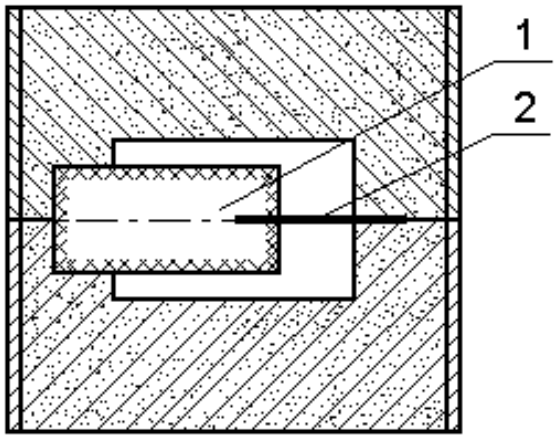


Рис. 6.8. Применение жеребейки в литейной форме

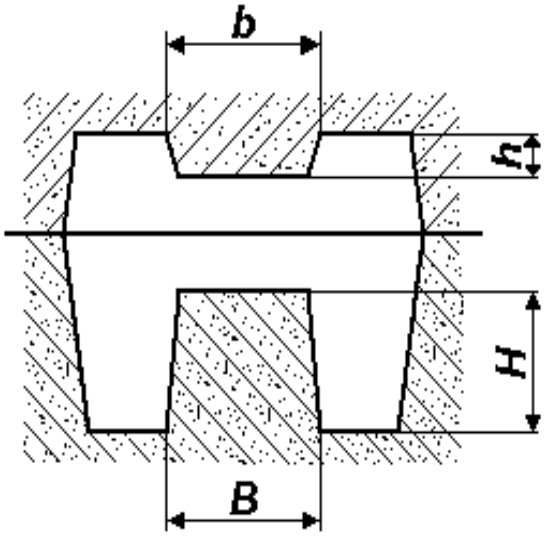


Рис. 6.9. Применение «болванов» для выполнения полостей отливки

Иногда для получения глухих (несквозных) отверстий вместо стержней применяют «болваны». Они дают возможность изготавливать форму без стержней, выполняя их функции. *Болван* – часть формы, не выступающая за плоскость разъёма. Высота внутренней полости, выполняемой «болваном» в нижней части формы не должна превышать ширину или диаметр её сечения $H \leq B$ (рис.6.9). Если же внутренняя полость выполняется «болваном» в верхней части формы, то $h \leq 0{,}3b$.

Положение стержня должно быть строго зафиксировано в полости формы. Для этого предусматриваются стержневые (литейные) знаки, как продолжения отверстий. В местах отверстий у детали модель имеет выступающие части (рис. 6.10, *1*) для получения в форме так называемых литейных знаков (рис. 6.10, *2*).

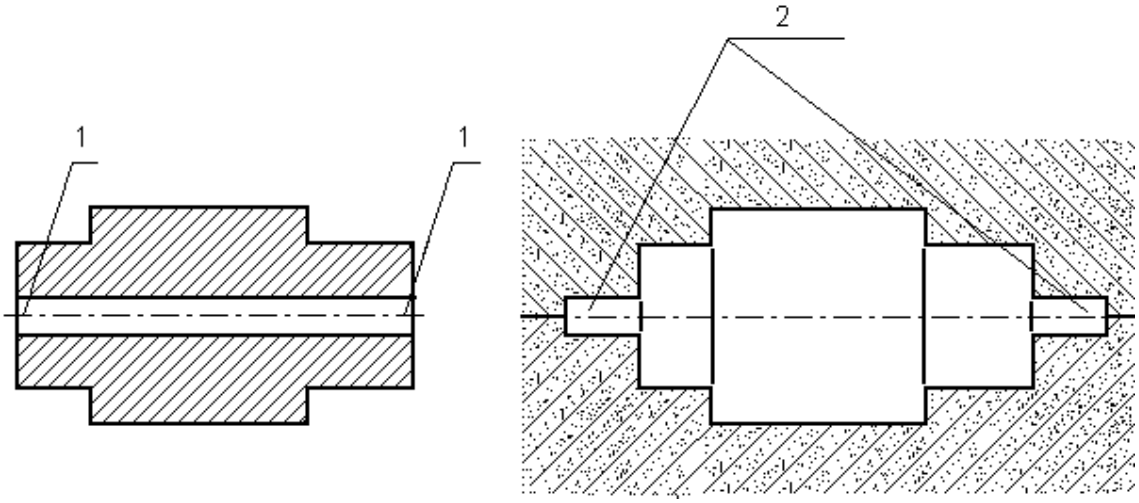


Рис. 6.10. Деталь и литейная форма для её получения

Для лучшего извлечения моделей из формы их вертикальным поверхностям задаются *формовочные уклоны* (рис. 6.11). Величина уклонов может составлять до 3° в зависимости от высоты модели. Формовочные уклоны задаются также моделям «болванов» и знаковым частям стержней (до 15°).

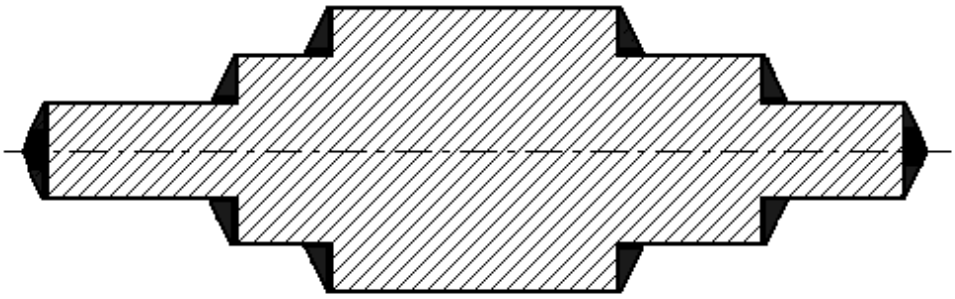


Рис. 6.11. Применение формовочных уклонов

Модель отливки выполняется в соответствии со всеми этими правилами; кроме того, учитываются припуски на механическую обработку и усадку (рис. 6.12, область 1).

Припуск на механическую обработку – слой металла, предусмотренный для снятия в процессе механической обработки с целью получения необходимой точности размеров и шероховатости поверхностей. Он зависит от материала отливки, способа литья, объёма производства, положения обрабатываемой поверхности в форме.

Припуск на усадку – слой металла компенсирующий уменьшение объема отливки во время кристаллизации и остывания. Он зависит от величины усадки применяемого сплава.

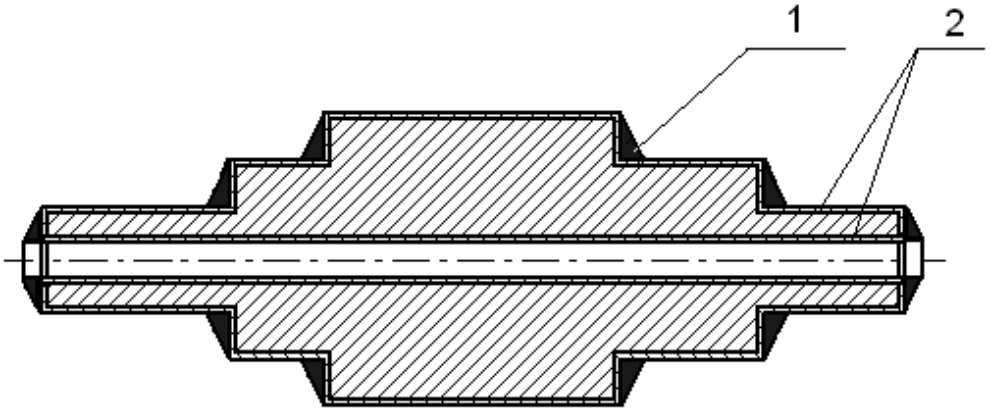


Рис. 6.12. Припуски на механическую обработку и усадку

Для облегчения формовки внутренней полости модель делится плоскостями разъёма, чаще всего на две части. **Плоскость разъёма обычно совпадает с одной из осей симметрии отливки.** Этим достигается выполнение правила параллельных лучей и экономия литейных материалов за счёт меньших затрат металла на изготовление уклонов.

Литниковая система к отливке подводится в плоскости разъёма формы. Определение размеров элементов литниковых систем для отливок из различных сплавов производится с помощью соответствующих диаграмм и эмпирических формул. С учётом массы расплавленного металла и скорости заливки определяется площадь поперечных сечений питателей, шлакоуловителя и стояка.

Иногда, для исключения образования при кристаллизации усадочных раковин в сложных отливках, в форме выполняется дополнительная ёмкость, в которой находится жидкий металл. Эта ёмкость называется *прибылью* (рис. 6.13, 1). Она соединена с полостью формы и питает отливку жидким расплавом по мере усадки металла в форме. Прибыль устанавливается в том месте формы, где расположен наибольший объём жидкого металла. При необходимости использования прибылей по эмпирическим формулам (в зависимости от размеров питаемого узла) определяется длина и ширина основания прибыли и её высота.

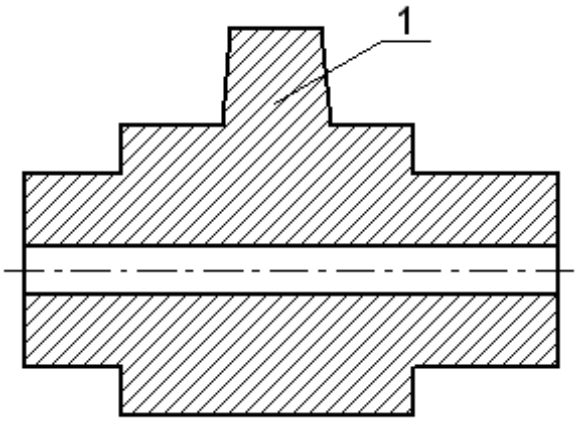


Рис. 6.13. Прибыль и место её расположения в форме

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с общими положениями конструирования отливок.

2. В соответствии с полученным заданием изобразить эскиз готовой детали (рис. 6.14, *а*).

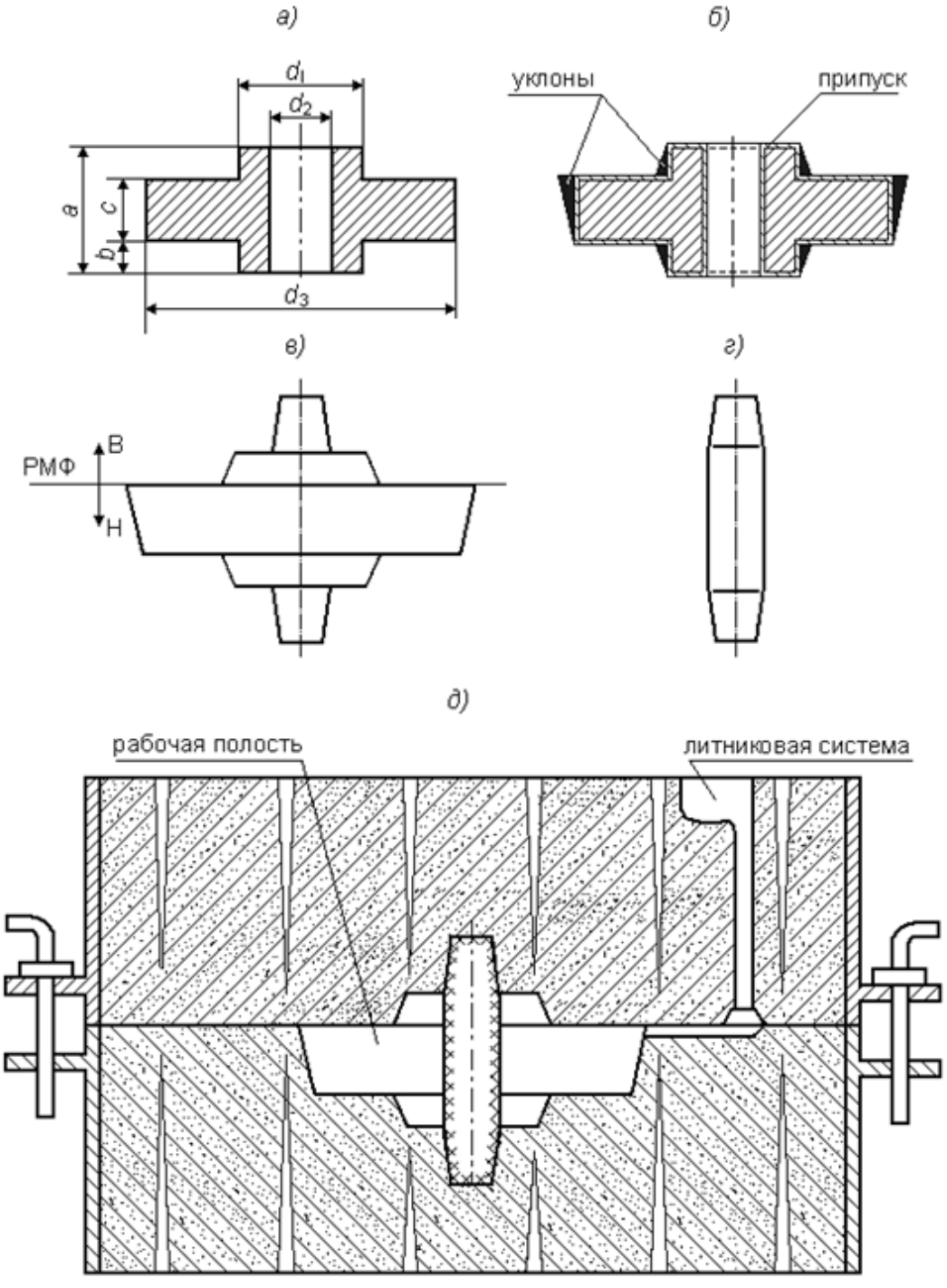


Рис.6.14. Пример выполнения задания
а) эскиз детали; *б)* эскиз отливки; *в)* эскиз модели;
г) эскиз стержня; *д)* вертикальный разрез литейной формы

3. Выбрать положение отливки в форме при заливке, определить конфигурацию модели и стержня (стержней), задать поверхность разъёма модели и формы с использованием правила параллельных лучей.

4. Изобразить эскиз отливки с учётом припуска на механическую обработку (припуск назначать только на поверхности, связанные размерами), формовочных уклонов и закруглений (рис. 6.14, *б*).

5. Изобразить эскиз модели, указать поверхность разъёма (РМФ), выделить стержневые знаки (рис. 6.14, *в*).

6. Изобразить эскиз стержня (стержней), с учётом уклонов стержневых знаков (рис. 6.14, *г*), продумать конструкцию стержневого ящика.

7. Изобразить вертикальный разрез литейной формы с указанием рабочей полости и литниковой системы (рис. 6.14, *д*).

Пример выполнения задания приведён на рис. 6.14.

Примечания:

1. Формовка должна выполняться в двух опоках.

2. Не допускается применение напусков, т. е. назначение дополнительных объёмов металла для упрощения конфигурации деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы

2. Основные правила проектирования отливок.

3. Этапы конструирования разовой песчано-глинистой формы в соответствии с индивидуальным заданием.

4. Продольный и поперечный разрезы формы с присоединённой литниковой системой.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите преимущества расположения отливки в форме с наименьшей высотой полости формы.

2. Что такое ликвация?

3. Для чего применяют правило параллельных лучей?

4. Назовите преимущества и недостатки конструкции литой детали, выполненной в соответствии с принципом направленного затвердевания.

5. Какие литые детали выполняются в соответствии с принципом одновременного затвердевания при охлаждении и почему?

6. В чём сущность метода вписанных окружностей?

7. Что такое галтель, и для чего применяют галтели?

8. Почему в форме должно быть как можно меньше стержней?

9. Что такое «болван», и для чего он применяется?

10. Что такое жеребейка, и для чего её применяют?

11. С какой целью задаются формовочные уклоны?

12. Что такое припуск на механическую обработку?

13. Что такое усадка?

14. Для чего применяются литейные знаки?

15. С какой целью применяется прибыль? Где она устанавливается?

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов В. П., Тимофеев В. Л., Фёдоров В. Б., Чумичкин А. А. Технология конструкционных материалов. Компактный учебный курс: Учебное пособие для машиностроительных образовательных учреждений / Под общ. ред. В. Л. Тимофеева. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2008. 258 с.

2. Дальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 1992.

3. Кривандин В. А. Металлургические печи / В. А. Кривандин; профессор, доктор техн. наук. – Москва: Металлургия, 1992. 461 с.

4. Фетисов Г. П. и др. Материаловедение и технология металлов. – М.: Высшая школа, 2001.

5. Дриц М. Е., Москалёв М. А. Технология конструкционных материалов. – Высшая школа, 1990.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ПЛАВКА ЧУГУНА В ВАГРАНКЕ» 3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ» 10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ХОЛОДНАЯ ОБЪЕМНАЯ И ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА 19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗОВОЙ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫВ ДВУХ ОПОКАХ 30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ . 36
(ЛИТЬЁ В КОКИЛЬ И ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ) 36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТЛИВОК .. 44
ЛИТЕРАТУРА 56



Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный
горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

Технология конструкционных материалов

Лабораторный практикум по теме "*ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ* " для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 - «Машиностроение», 15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования 15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» *очного и заочного обучения*

Екатеринбург
2018

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Т. П. Глинникова, С. А. Волегов

Технология конструкционных материалов

Лабораторный практикум
по теме "*ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ* "
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 - «Машиностроение»,
15.03.02 - «Технологические машины
и оборудование» (ТМО)
и среднего профессионального образования
15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация
промышленного оборудования (по отраслям)»
очного и заочного обучения

Издание УГГУ

Екатеринбург, 2018

Г 54

Рецензент: *Г. Г. Кожушко*, д-р техн. наук, профессор кафедры ПТМР УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

Лабораторный практикум рассмотрен на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования пятого декабря 2018 года (протокол № 4) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Г 54 Технология конструкционных материалов: **Глинникова Т. П., Волегов С. А.** Лабораторный практикум по теме "ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ " для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 - «Машиностроение», 15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО) и среднего профессионального образования 15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования(по отраслям)» очного и заочного обучения / Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 74с.

Руководство составлено для проведения лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов». В руководстве изложены краткие сведения об устройстве токарно-винторезных станков и методах обработки на них. Рассмотрен выбор инструмента в зависимости от обрабатываемой поверхности.

© Глинникова Т.П., Волегов С.А., 2018
© Уральский государственный горный университет, 2018

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА

Цель работы

1. Ознакомиться с общим видом токарно-винторезного станка.
2. Изучить назначение всех кнопок и рукояток управления.
3. Рассмотреть и изучить назначение основных узлов станка.
4. Познакомиться с режущим инструментом.
5. Познакомиться с оснасткой станка.

Краткие сведения о токарно-винторезных станках

Станки токарной группы имеют самое большое распространение на машиностроительных заводах и в ремонтных цехах, по сравнению с другими группами металлорежущих станков.

Токарные станки предназначены, главным образом, для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, нарезания резьбы и обработки торцевых поверхностей деталей типа тел вращения с помощью разнообразных резцов, сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек.

Основные параметры токарных станков – наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над станиной, и наибольшее расстояние между центрами. Важным параметром станка является также наибольший диаметр заготовки, обрабатываемой над поперечными салазками суппорта.

Токарно-винторезный станок является универсальным станком, предназначенным для эксплуатации в условиях единичного и мелкосерийного производств. Рассмотрим устройство этого типа станков на примере токарно-винторезного станка модели 16К20 (рис. 1.1).

Основными узлами станка являются станина *1*, передняя бабка *4*, шпиндель *5*, суппорт, коробка подач *3*, гитара сменных зубчатых колес *2*, задняя бабка *11*, механизм быстрого перемещения суппорта *14*.

Станина *1* служит для монтажа на ней основных узлов и частей станка. Она снабжена направляющими для продольного перемещения суппорта и задней бабки.

Передняя бабка *4* предназначена для размещения в ней коробки скоростей, с помощью которой изменяют частоту и направление

вращения шпинделя *5*.

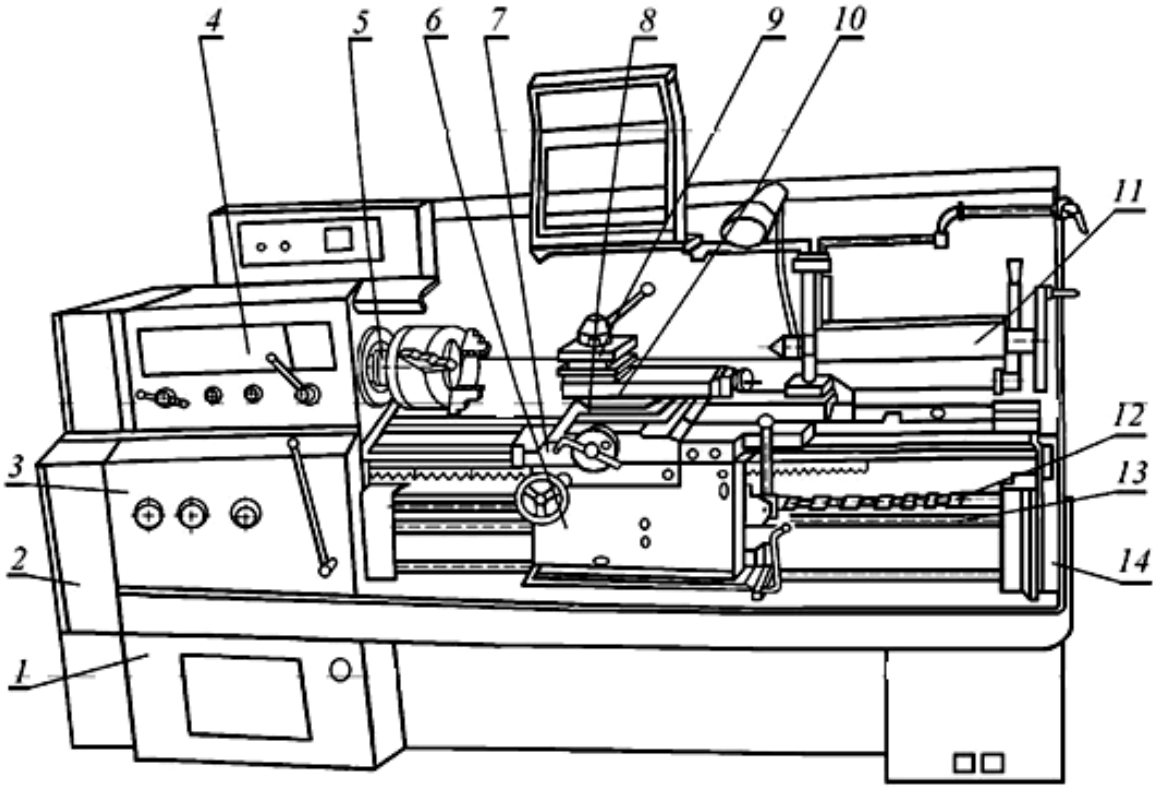


Рис. 1.1. Общий вид токарно-винторезного станка модели 16К20

На правый конец шпинделя, являющегося пустотелым валом, устанавливают различные приспособления для закрепления заготовки. На рис. 1.1 таким приспособлением является трехкулачковый самоцентрирующийся патрон.

Суппорт станка состоит из продольных *7* и поперечных *8* салазок, фартука *6*, верхнего суппорта *10* и четырехпозиционного поворотного резцедержателя *9*. В резцедержателе устанавливают и закрепляют резцы, которым вместе с суппортом сообщают движения продольной и (или) поперечной подач.

Коробка подач *3* предназначена для изменения скоростей продольного и поперечного движений подачи суппорта, с которым она соединена с помощью ходового винта *12* и ходового вала *13*. Передачу вращательного движения выходного вала коробки подач к механизмам суппорта через ходовой винт используют только при нарезании резьб. Для выполнения всех других видов токарных работ движение от коробки подач к суппорту поступает через ходовой вал.

Гитара сменных зубчатых колес *2* является звеном передачи движения от шпинделя станка к коробке подач и настраивается при нарезании точных резьб. Заменяя одни зубчатые колеса гитары дру-

гими, можно изменять величину подачи суппорта.

Заднюю бабку *11* используют в качестве дополнительной опоры заготовки при изготовлении валов с отношением длины к диаметру заготовки более четырех, а также для закрепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек и сообщения им движения подачи при обработке центрального отверстия.

Привод быстрого перемещения *14* используют для сокращения непроизводительных затрат времени на вспомогательные передвижения суппорта. Механизм привода состоит из электродвигателя, вмонтированного в заднюю стойку станины, и клиноременной передачи, с помощью которой передается вращение на ходовой вал.

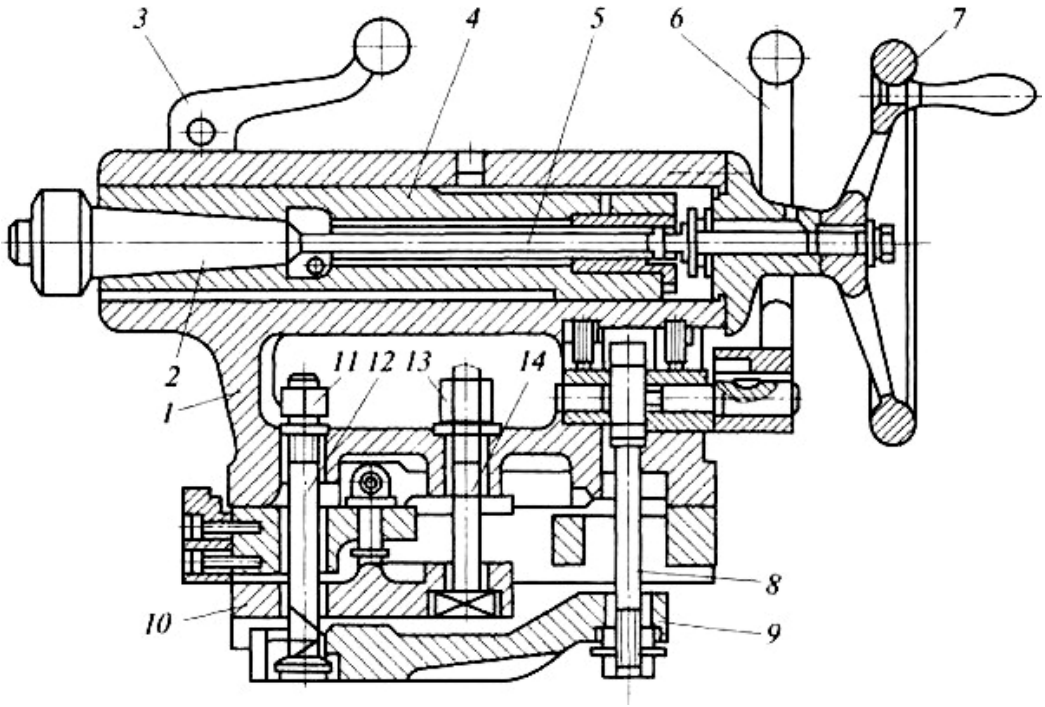


Рис. 1.2. Задняя бабка токарного станка:
1 – корпус; *2* – центр; *3, 6* – рукоятки; *4* – пиноль; *5, 12* и *14* – винты;
7 – маховик; *8* – тяга; *9, 10* – рычаги; *11, 13* – гайки

Устройство задней бабки показано на рис. 1.2. В корпусе *1* при вращении винта *5* маховиком *7* перемещается пиноль *4*, закрепляемая рукояткой *3*. В пиноли устанавливается центр *2* с коническим хвостовиком (или осевой инструмент). Задняя бабка перемещается по направляющим станка вручную или с помощью продольного суппорта. В рабочем неподвижном положении задняя бабка фиксируется рукояткой *6*, которая соединена с тягой *8* и рычагом *9*. Сила прижима рычага *9* тягой *8* к станине регулируется гайкой *11* и винтом *12*. Более жесткое крепление задней бабки производится с помощью гайки

13 и винта *14*, который прижимает к станине рычаг *10*.

Для установки и закрепления заготовок на токарных станках используют различные приспособления (рис. 1.3).

Патроны подразделяют на простые и самоцентрирующиеся. Наибольший диаметр закрепляемой в патроне заготовки на станке модели 16К20 равен 400 мм.

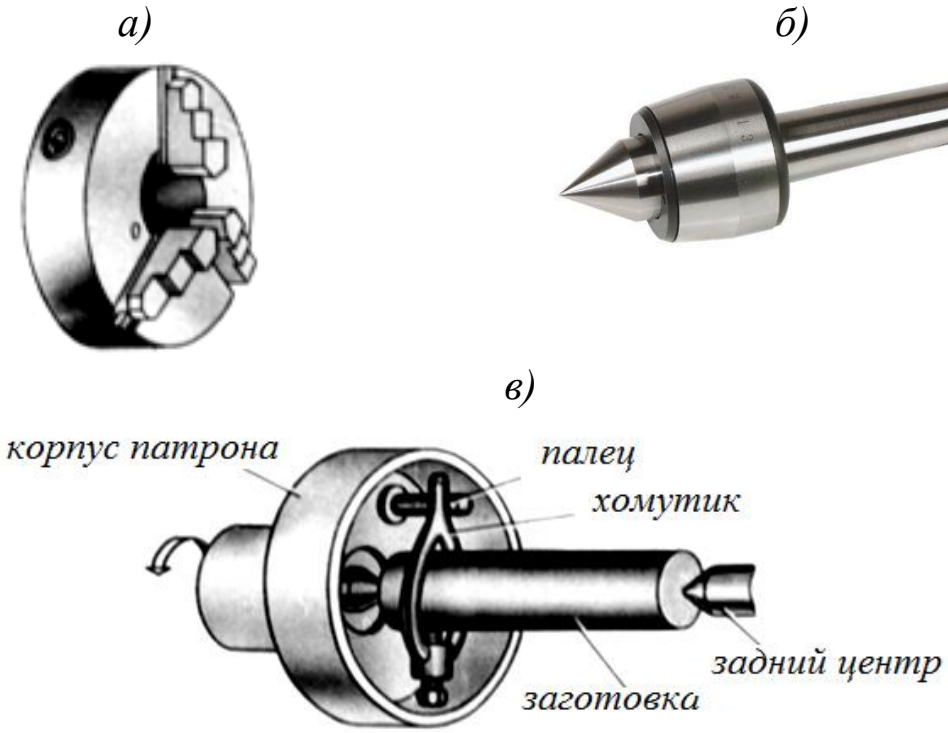


Рис. 1.3. Приспособления к токарным станкам:
а – трехкулачковый самоцентрирующийся патрон; *б* – центр вращающийся;
в – схема установки заготовки в центрах

Самоцентрирующиеся патроны (рис. 1.3, *а*) в большинстве случаев изготавливают трехкулачковыми и реже двухкулачковыми. Трехкулачковые самоцентрирующиеся патроны очень удобны в работе, так как все кулачки, закрепляющие заготовку, перемещаются по радиальным пазам одновременно и синхронно друг с другом к центру или от центра. Поэтому заготовка, имеющая цилиндрическую поверхность (наружную или внутреннюю), устанавливается и закрепляется в патроне так, что ее ось совмещается с осью шпинделя. Кроме того, в этом случае значительно сокращается время на установку и закрепление заготовки.

Несамоцентрирующие патроны изготовляют четырехкулачковыми. Каждый кулачок в них перемещается своим винтом независимо от остальных. Это позволяет устанавливать и закреплять в патронах заготовки цилиндрической и нецилиндрической форм.

При обработке заготовок длинных нежестких валов с соотношением длины к диаметру $L/D > 15$ для предотвращения их прогиба под действием сил резания, инерционных сил и сил тяжести используют неподвижные и подвижные люнеты.

Неподвижный люнет (рис. 4, *а*) монтируется на направляющие станины *1* с закреплением сухарем *2* и гайкой *3*. Заготовка *10* устанавливается между кулачками *6*, перемещаемыми от винтов *8* стойки *4*. Перед установкой верхнего кулачка необходимо открепить винт *11* и отвести крышку *7* относительно оси *5*. После выставления кулачков их требуется зафиксировать винтами *9*.

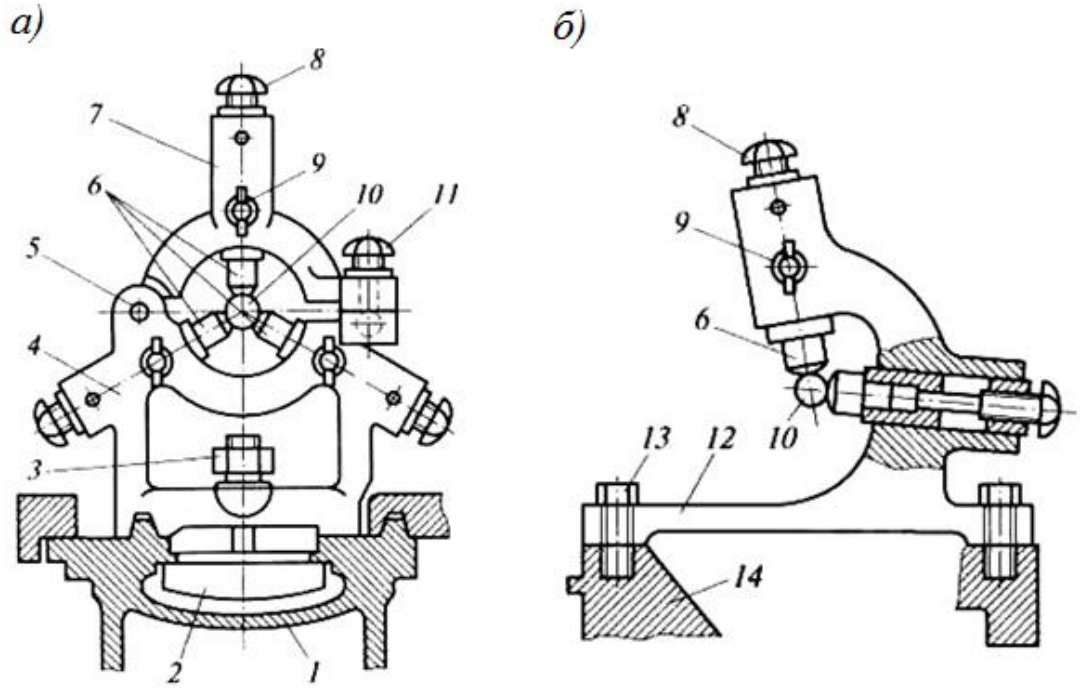


Рис. 1.4. Неподвижный (а) и подвижный (б) люнеты:
1 – станина; *2* – сухарь; *3* – гайка; *4, 12* – стойки, *5* – ось; *6* – кулачки; *7* – крышка; *8, 9, 11, 13* – винты; *10* – заготовка; *14* – суппорт

Подвижный люнет (рис. 1.4, *б*) монтируется на суппорте *14* станка с закреплением стойки *12* винтами *13*. Люнет имеет два кулачка *6*, регулируемых винтами *8*. В процессе обработки подвижный люнет перемещается вместе с резцом, что позволяет расположить кулачки люнета в непосредственной близости от зоны резания и тем самым почти исключить прогиб заготовки *10*.

Оборудование

1. Токарно-винторезный станок.
2. Патроны – поводковый, самоцентрирующийся трехкулачковый,

четырехкулачковый, токарные центры, люнеты.
3. Ключи для патрона и резцедержателя.
4. Резцы проходные и отрезные.
5. Заготовки для деталей.
6. Мерительный инструмент – штангенциркуль.
7. Плакат "Режущий инструмент и его применение".

Задание по работе

1. Изучить устройство и управление токарно-винторезным станком.
2. Изучить режущий инструмент и его применение.
3. Составить отчет о проделанной работе.
4. Ответить на 3 контрольных вопроса.

Порядок выполнения работы

1. Изучить правила техники безопасности при работе на токарном станке.
2. Изучив рекомендованную литературу, рассмотреть основные части станка и объяснить их назначение.
3. Ознакомиться с режущим инструментом, его установкой и назначением.
4. Ознакомиться с оснасткой станка, ее установкой и назначением.
5. Составить отчет о проделанной работе (Отчет выполняется на специальном бланке).

Содержание отчета

На схеме станка обозначить основные узлы станка и рукоятки управления. Коротко описать назначение основных узлов станка.

Схема обработки детали (эскиз детали и резца в плане, с указанием углов резца в плане и в сечении, направлений главных движений, материала режущей части).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислить основные узлы станка и их взаимное расположение.
2. Передняя бабка. Устройство и назначение.
3. Задняя бабка. Устройство и назначение.

4. Коробка подач. Устройство и назначение.
5. Фартук. Назначение рукояток.
6. Ходовой винт. Назначение.
7. Ходовой вал. Назначение.
8. Как вращательное движение ходового вала превращается в поступательное движение фартука?
9. Суппорт. Устройство и назначение.
10. Станина. Устройство.
11. Сверло центровочное. Назначение. Эскиз установки.
12. Зенкер. Назначение. Эскиз установки.
13. Развертка. Назначение. Эскиз установки.
14. Метчик машинный. Метчик ручной. Назначение и схема установки.
15. Плашка. Назначение.
16. Патрон трехкулачковый. Назначение.
17. Патрон четырехкулачковый. Назначение.
18. Установка детали в центрах.
19. Люнет подвижный, неподвижный. Назначение. Эскиз.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Цель работы: практическое ознакомление с основными типами резцов, их конструкцией, способами крепления пластин; усвоение методики измерения и исследование геометрии токарных резцов.

Краткие сведения о резцах

Резцы являются наиболее распространёнными инструментами в металлообрабатывающей промышленности. Они применяются при работе на токарных, револьверных, карусельных, расточных, строгальных, долбежных, станках, токарных автоматах и полуавтоматах, станках с ЧПУ и многоцелевых станках.

В зависимости от вида станка, конструкции резца, рода материала режущей части и характера работы резцы подразделяются на следующие типы (рис. 2.1):

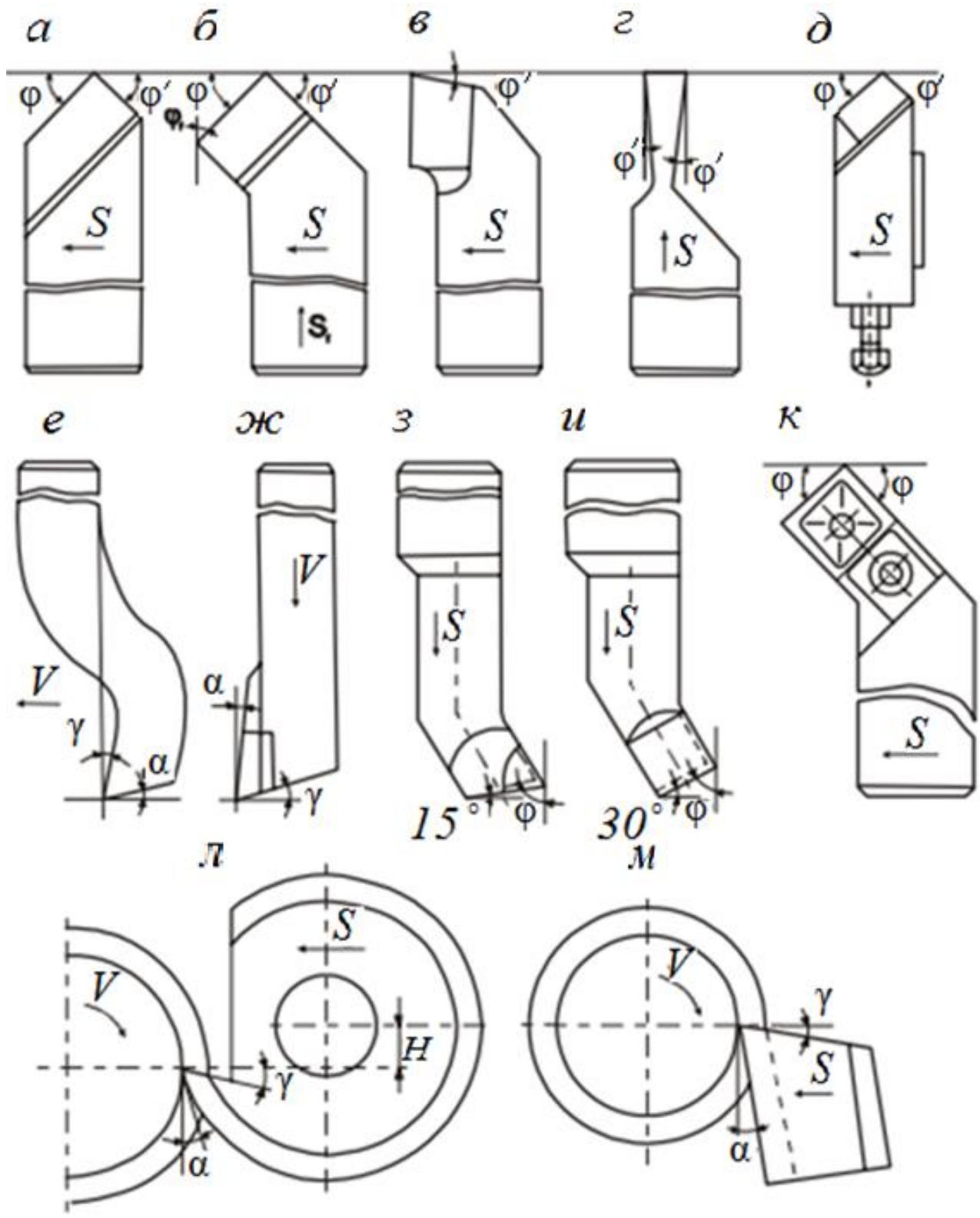


Рис. 2.1. Типы резцов: *а* – прямой проходной; *б* – отогнутый проходной; *в* – упорный подрезной; *г* – отрезной; *д* – автоматный; *е* – строгальный; *ж* – долбёжный; *з* – расточной для глухих отверстий; *и* – расточной для сквозных отверстий; *к* –

проходной с механическим креплением; *л* – фасонный круглый; *м* – фасонный призматический

1. по виду станков: а) токарные, б) строгальные, в) долбежные, г) расточные, д) резцы для автоматов и полуавтоматов, е) специальные;

2. по виду обработки: а) проходные, б) подрезные, в) отрезные, г) прорезные, д) резьбонарезные, е) фасонные;

3. по характеру обработки: а) черновые, б) чистовые, в) для тонкого точения;

4. по направлению подачи: а) правые, б) левые;

5. по конструкции головки: а) прямые, б) отогнутые, в) с механическим креплением пластинки;

6. по роду материала: а) из быстрорежущей стали, б) из твёрдого сплава, в) с пластинами из минералокерамики, г) из сверхтвёрдых материалов.

Проходные прямые и отогнутые резцы применяются для обработки наружных поверхностей. Для прямых резцов обычно главный угол в плане $\varphi = 45 – 60°$, а вспомогательный угол в плане $\varphi^1 = 15 – 20°$. У проходных отогнутых резцов углы $\varphi = 45°$. Эти резцы работают как проходные с продольным движением подачи и как подрезные с поперечным движением подачи (см. рис. 2.2, 2.3.)

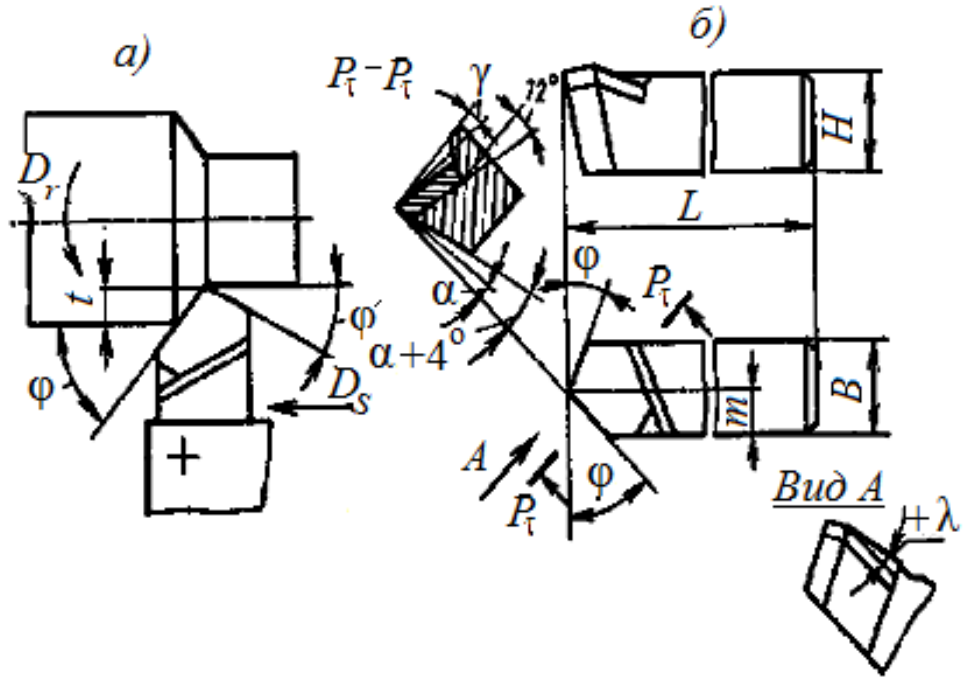


Рис. 2.2. Токарный прямой проходной резец:
а) схема точения, *б*) прямой проходной резец (геометрические параметры)

Для одновременной обработки цилиндрической поверхности и торцевой плоскости применяют *проходные упорные резцы* (см. рис. 2.4). Для них главный угол в плане φ = 90°. Эти резцы работают с продольным движением подачи.

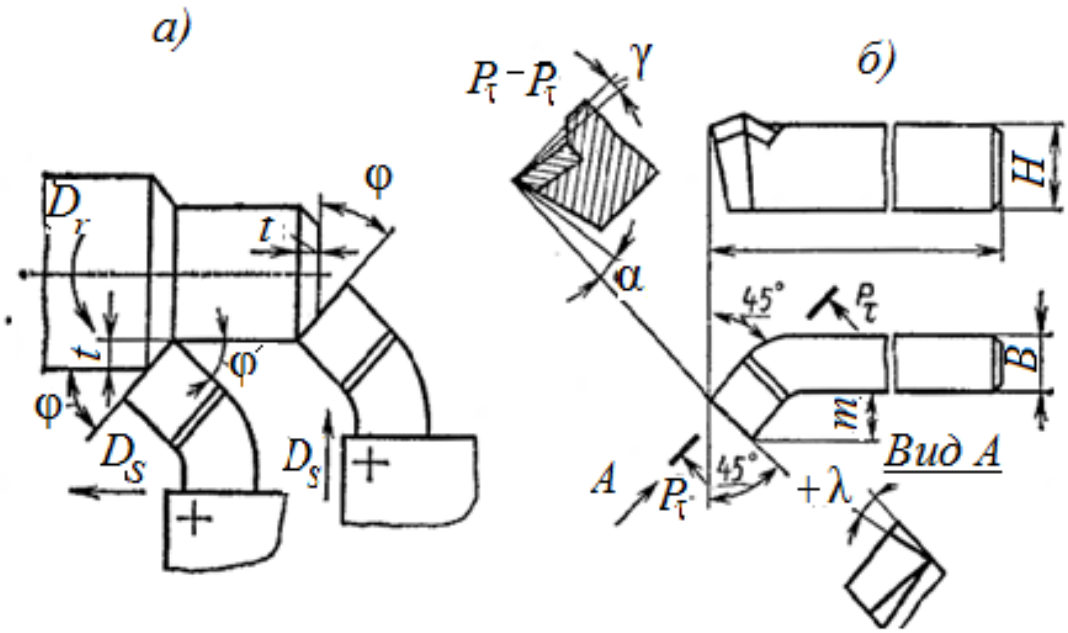


Рис. 2.3. Токарный проходной отогнутый резец:
а) схема точения; *б)* проходной отогнутый резец (геометрические параметры)

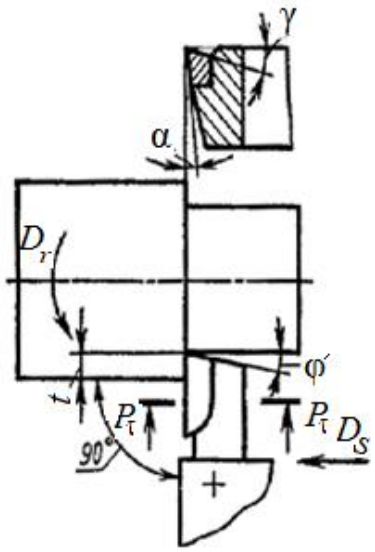


Рис. 2.4. Схема точения проходным упорным резцом

Подрезные резцы (см. рис. 2.5) применяют для подрезания торцов заготовок. Они работают с поперечным движением подачи инструмента по направлению к центру заготовки.

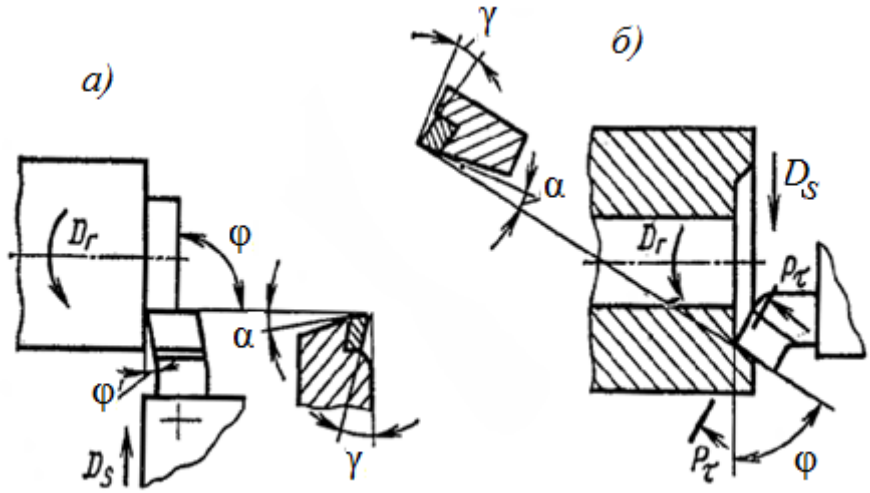


Рис. 2.5. Подрезные резцы:
а) движение подачи к центру заготовки; *б*) движение подачи от центра заготовки

Расточные резцы (см. рис. 2.6) применяют для растачивания отверстий. Используют два типа расточных резцов; проходные – для сквозного растачивания, упорные – для глухого растачивания. У проходных расточных резцов угол в плане φ = 45–60°, а у упорных – угол φ несколько больше 90°. Отрезные резцы применяют для разрезания заготовок на части, отрезания обработанной заготовки и для протачивания канавок. Эти резцы работают с поперечным движением подачи.

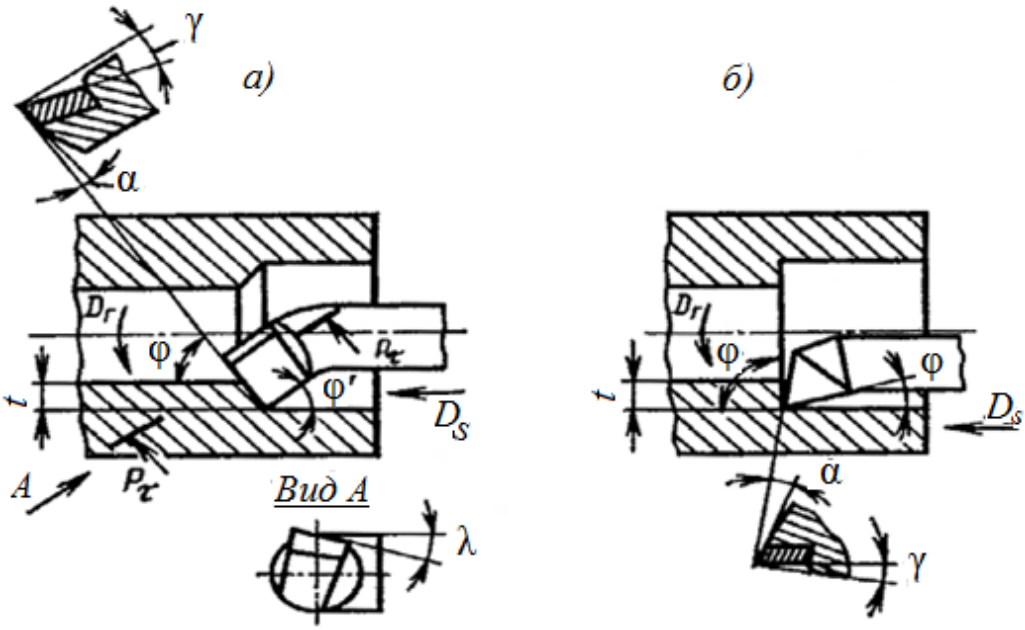


Рис. 2.6. Расточные токарные резцы:
а) для сквозных отверстий; б) для глухих отверстий

Отрезной резец (см. рис. 2.7) имеет главную режущую кромку, расположенную под углом φ = 90°, и две вспомогательные с углами φ = 1 ÷ 2°. У стандартных отрезных резцов ширина режущей кромки составляет 3 ÷ 10 мм.

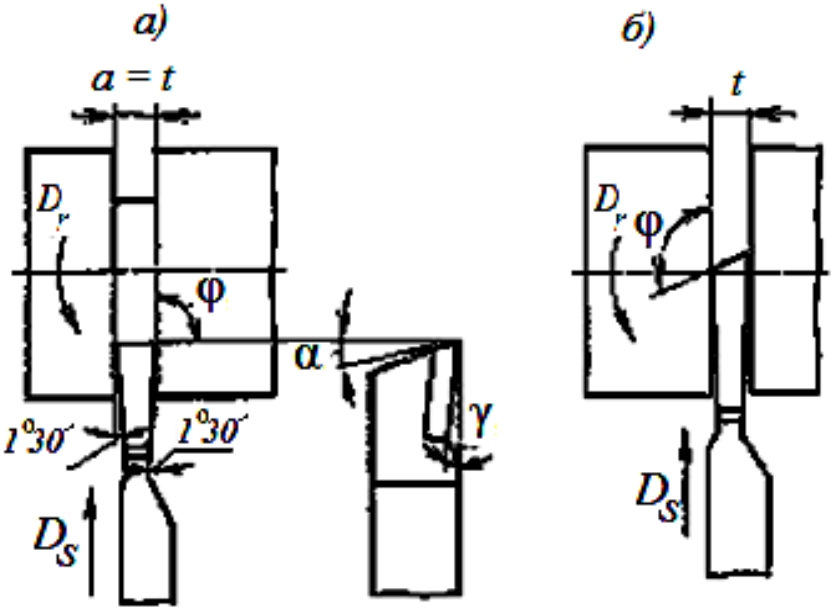


Рис. 2.7. Отрезные резцы:
а) с прямой режущей кромкой; *б*) с наклонной режущей кромкой

Фасонные резцы (см. рис. 2.8)применяют для обработки коротких фасонных поверхностей с длиной образующей линии до 30 – 40 мм. Форма режущей кромки фасонного резца соответствует профилю детали.

Резьбовые резцы (см. рис. 2.9) применяют для нарезания наружной и внутренней резьбы любого профиля. Форма режущих лезвий резьбовых резцов соответствует профилю и размерам поперечного сечения нарезаемых резьб. По конструкции различают резцы цельные, изготовленные из одной заготовки; составные с неразъемным соединением его частей; сборные с механическим креплением пластин или вставок.

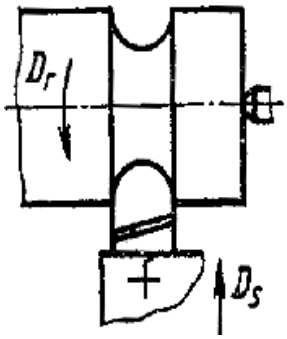


Рис. 2.8. Фасонный резец

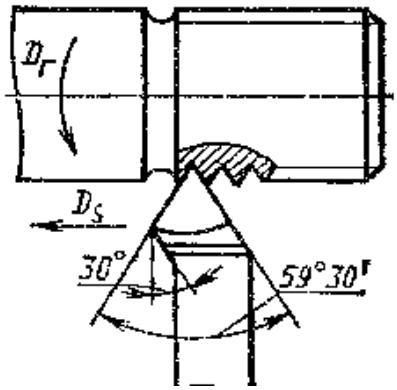


Рис. 2.9. Резьбовой резец

Резец состоит из головки и зажимной части. Головка является режущей частью резца, конструктивно она оформлена следующими элементами: передней поверхностью (гранью), двумя задними поверхностями (гранями), главным и вспомогательным режущими лезвиями (кромками) и вершиной (рис. 2.10).

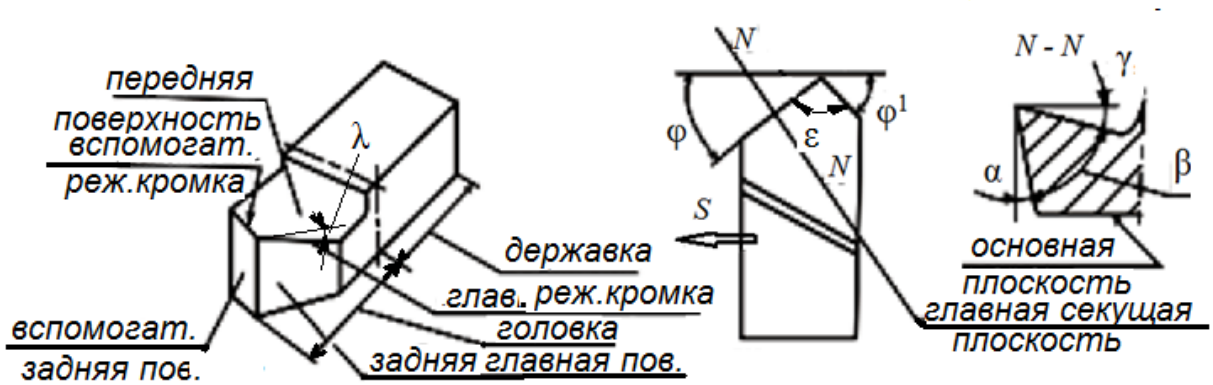


Рис. 2.10. Конструкция рабочей части резцов.

Тело головки резца имеет форму клина с углами γ, α и β. Взаимное расположение режущих кромок определяется углами φ, φ^1 и λ. Углы γ, α, β, φ, φ^1, ε и λ являются геометрическими параметрами режущего клина. Углы γ, α и β задаются и измеряются в главной секущей плоскости (в плоскости $N - N$, перпендикулярной к главной режущей кромке); углы φ, φ^1 и ε – в основной плоскости. Величины этих углов выбирают в зависимости от физико-механических свойств материала резца и обрабатываемого изделия.

Формы передней поверхности представлены на рис. 2.11.

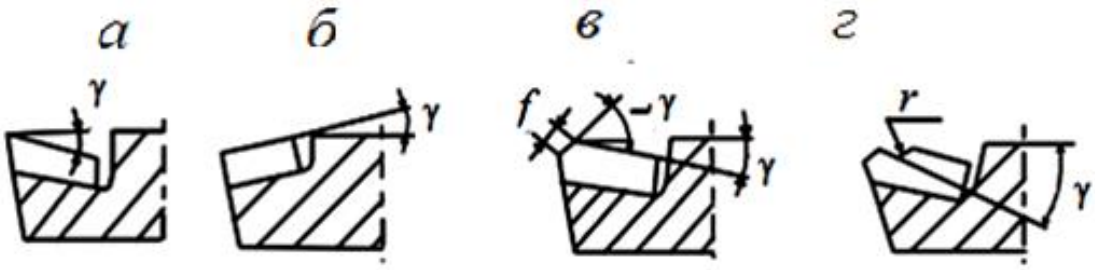


Рис. 2.11. Формы передней поверхности резцов:
а – плоская с положительным углом γ, *б* – плоская с отрицательным углом γ,
в – плоская с отрицательной фаской, *г* – с канавкой и отрицательной фаской.

При обработке трудно обрабатываемых материалов, черновой обработке литых заготовок для упрочнения режущей кромки и для предохранения её от выкраивания на передней поверхности резца выполняется ленточка с отрицательным углом, а при точении пластичных материалов, для обеспечения завивания и ломания стружки, на передней поверхности выполняется канавка вдоль главной режущей кромки или уступ на передней поверхности.

В качестве инструментального материала для изготовления режущей части резца используются пластины из твёрдого сплава различной формы, которые крепятся к держалке резца пайкой или механически.

В условиях автоматизированного производства широкое применение находят многогранные неперетачиваемые пластины (МНП) из твёрдого сплава.

Наибольшее распространение получили следующие способы крепления этих пластин: *а* – крепление клином, *б* – прихват сверху, *в* – качающийся рычаг, *г* – косой тягой, *д* – подтяжкой на базу (рис. 2.12). Крепёжная (зажимная) часть резца может иметь вид стержня прямоугольного, квадратного или круглого сечения.

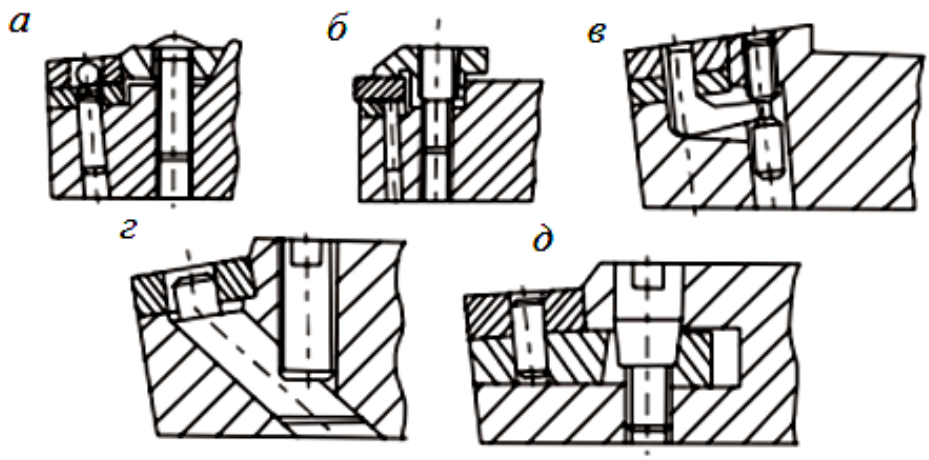


Рис. 2.12. Способы крепления неперетачиваемых пластин

Процесс обработки задаётся режимом резания. Элементами режима резания являются **скорость резания, подача и глубина резания**. Совокупность этих значений принято называть **режимом резания**. Режим резания выбирается в следующей последовательности:

- глубина резания – t,
- подача – S,
- скорость резания – V.

Глубина резания – определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное по нормали. Глубина резания измеряется в миллиметрах.

$$t = (D - d)/2$$ (при точении и рассверливании);

Глубина резания зависит от следующих факторов:

– величины припуска a (слой металла, подлежащий удалению в процессе обработки);

– вида обработки (черновая или чистовая);

– мощности станка.

Глубина резания может быть равна припуску $t = a$, или $t = a / i$, если припуск снимается за несколько проходов (i – количество ходов, за которое снимется весь припуск при данной глубине резания).

Подача (S) – это перемещение заготовки или инструмента в направлении движения подачи за цикл движения резания.

При точении и сверлении подача задается в миллиметрах за 1 оборот (мм/об), при фрезеровании подача может быть задана в миллиметрах на зуб (мм/зуб), в миллиметрах в минуту (мм/мин), при строгании – в миллиметрах за двойной ход стола (мм/дв. ход).

Величина подачи зависит от требований к обработанной поверхности: шероховатости и точности поверхности – чем выше точность и чистота обработки, тем меньше величина подачи.

Скорость резания (V) – скорость перемещения точки режущей кромки инструмента относительно заготовки. Скорость резания измеряют в метрах в минуту ***при всех видах обработки резанием***, кроме шлифования и полирования (метры в секунду).

Если главное движение резания является вращательным, то скорость резания определяется по формуле

$$V = \pi D n /1000,$$

где D – диаметр заготовки, мм; n – частота вращения заготовки, об/мин.

К элементам процесса резания относится также основное технологическое время T_o, затрачиваемое непосредственно на обработку резанием данной поверхности (изменение формы и размеров заготовки).

Основное время определяется по формуле:

$$T_o = L\, i / S\, n\,,$$

где $L = l + l_1 + l_2$,

l – длина обрабатываемой поверхности,

l_1 – величина врезания инструмента,

l_2 – величина перебега инструмента.

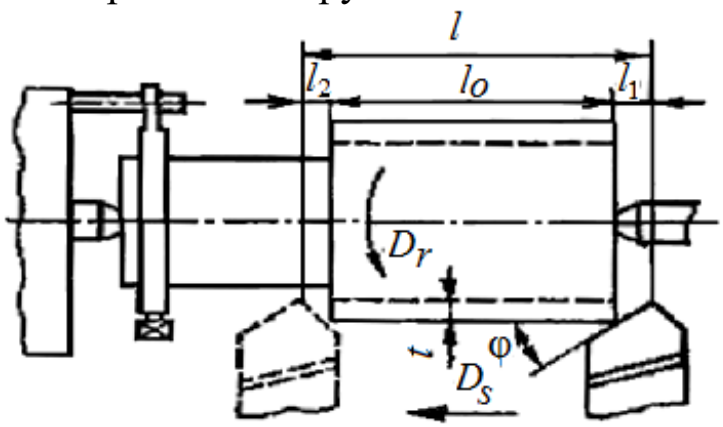


Рис. 2.13. Схема к расчёту T_O при обработке цилиндрической поверхности

Измерение конструктивных и геометрических параметров резца

Измерение геометрических параметров головки резца и габаритных размеров зажимной части производится универсальным или настольным угломером, штангенциркулем и металлической линейкой (рис. 2.14, 2.15).

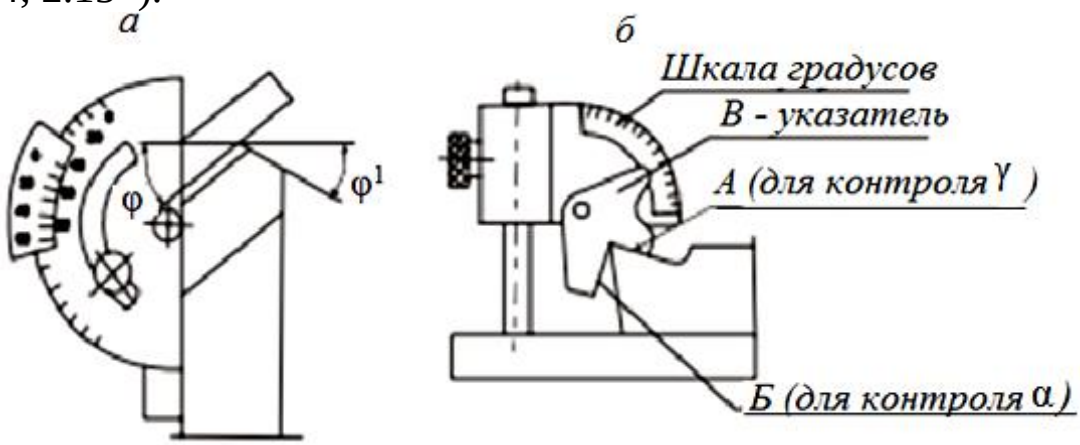


Рис. 2.14. Измерение геометрических параметров резца:

а – универсальным угломером, *б* – настольным угломером.

Для определения численного значения переднего и заднего углов и угла наклона режущей кромки при измерении настольным угломером пользуются выражением:

$$\gamma = 45° - x, \; \alpha = 90° - x,$$

где x – показания на лимбе угломера. Результаты измерений заносят в таблицу.

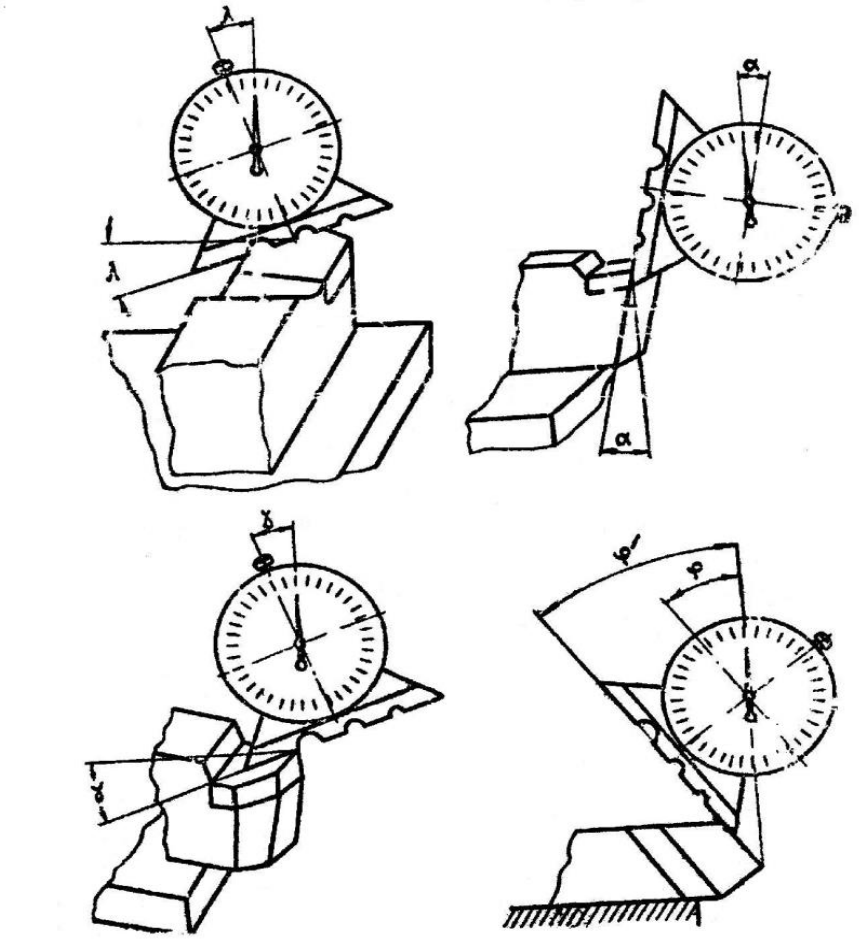


Рис. 2.15. Измерение геометрических параметров резца угломером

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с основными типами резцов и их конструкцией.

2) Изучить приборы для измерения геометрических параметров режущего клина резцов.

3) Выполнить эскиз резца и нанести условные обозначения всех конструктивных размеров и геометрических параметров.

4) Измерить конструктивные и геометрические параметры 2–3 резцов и результаты измерений занести в протокол измерений.

5) Выполнить эскизы деталей сборного резца, с механическим креплением пластины (по указанию преподавателя).

Содержание отчёта

1. Цель лабораторной работы.
2. Перечисление основных типов резцов, подготовленных для выполнения лабораторной работы.
3. Эскиз одного резца с указанием всех конструктивных и геометрических параметров.
4. Протоколы измерений в виде таблицы (см. бланк отчета).
5. Схема обработки поверхности данным резцом.
6. Расшифровка марки выбранного станка (см. бланк отчета).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Резец проходной отогнутый правый. Углы в плане, назначение.
2. Материал режущей части резца.
3. Резец проходной отогнутый левый. Углы в плане, назначение.
4. Резец проходной, прямой, правый. Углы в плане, назначение.
5. Резец подрезной, отогнутый, правый. Углы в плане, назначение.
6. Резец отрезной. Углы в плане, назначение.
7. Резец проходной, упорный, правый. Углы в плане, назначение.
8. Резец резьбовой. Углы в плане, назначение.
9. Резец расточной для сквозных отверстий. Углы в плане.
10. Резец расточной для глухих отверстий. Углы в плане.
11. Назовите основные конструктивные элементы головки резца и геометрические параметры резца. Дайте определение углов.
12. Для каких работ назначаются проходные, подрезные и отрезные резцы и какими видами подач они работают?
13. Какие формы могут иметь зажимная часть и передняя поверхность резца?
14. В каких плоскостях задаются и измеряются геометрические параметры резца? .
15. Какие существуют способы крепления пластин из твёрдого сплава?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА ДЛЯ ТОЧЕНИЯ НАРУЖНЫХ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы: знания характеристик конических поверхностей, технологических методов обработки конусов, основ наладки токарно-винторезного станка на обработку конусов, умения выбирать метод токарной обработки конической поверхности в зависимости от ее размеров, настраивать станок.

Краткая теория

В технике часто используются детали с наружными и внутренними коническими поверхностями, например, конические шестерни, ролики конических подшипников. Инструменты для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки) имеют хвостовики со стандартными конусами Морзе; шпиндели станков имеют конусную расточку под хвостовики инструментов или оправок и т. п.

Обработка деталей с конической поверхностью связана с образованием конуса вращения или усеченного конуса вращения.

Конусом называется тело, образованное всеми отрезками, соединяющими некоторую неподвижную точку с точками окружности в основании конуса.

Неподвижная точка называется *вершиной конуса*.

Отрезок, соединяющий вершину и любую точку на окружности, называется *образующей конуса.*

Осью конуса называется перпендикуляр, соединяющий вершину конуса с основанием, а образующийся отрезок прямой является *высотой конуса*.

Конус считается *прямым* или *конусом вращения*, если ось конуса проходит через центр окружности в его основании.

Плоскость, перпендикулярная оси прямого конуса, отсекает от него меньший конус. Оставшаяся часть называется *усеченным конусом вращения*.

Усеченный конус характеризуется следующими элементами (рис. 3.1):

- D и d – диаметры и большего и меньшего оснований конуса;
- l – высота конуса, расстояние между основаниями конуса;

– *угол конуса* 2α – угол между двумя образующими, лежащими в одной плоскости, проходящей через ось конуса;
– *угол уклона конуса* α – угол между осью и образующей конуса;
– *уклон* У, тангенс угла уклона У = tg α = (*D* – *d*)/(2*l*), который обозначается десятичной дробью (например: 0,05; 0,02);
– *конусность* – определяется по формуле: *k* = (*D* – *d*)/*l*, и обозначается с использованием знака деления (:) (например, 1:20; 1:50 и т. д.).
–

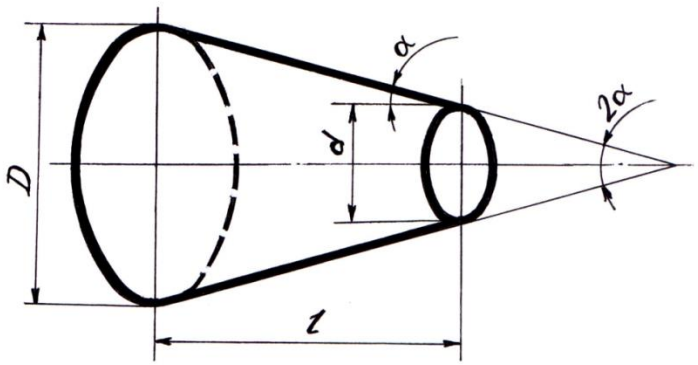


Рис. 3.1. Элементы конуса

Конусность численно равна удвоенному уклону У.

Перед размерным числом, определяющим уклон, наносят знак ∠, острый угол которого направлен в сторону уклона. Перед числом, характеризующим конусность, наносят знак ⧼, острый угол которого должен быть направлен в сторону вершины конуса.

В массовом производстве на станках-автоматах для точения конических поверхностей используются копировальные линейки на один неизменный угол наклона конуса, который может изменяться только при переналадке станка с другой копировальной линейкой.

В единичном и мелкосерийном производстве на станках с ЧПУ точение конических поверхностей с любым углом конуса при вершине осуществляется подбором соотношения скоростей продольной и поперечной подачи. На станках, не оснащенных ЧПУ, обработка конических поверхностей может быть произведена четырьмя способами, перечисленными ниже.

Способы обработки конических поверхностей

1. Широким резцом

При обработке валов часто встречаются переходы между обрабатываемыми поверхностями, имеющие коническую форму, а на

торцах обычно снимают фаску. Если длина конуса не превышает 25 мм, то его обработку можно производить широким резцом (рис. 3.2).

Угол наклона режущей кромки резца в плане должен соответствовать углу уклона конуса на обрабатываемой детали. Резцу сообщают подачу в поперечном или продольном направлениях.

Следует учитывать, что при обработке конуса резцом с режущей кромкой длиной более 10–15 мм могут возникнуть вибрации, уровень которых тем выше, чем больше длина обрабатываемой детали, меньше ее диаметр, меньше угол наклона конуса. В результате вибраций на обрабатываемой поверхности появляются следы, и ухудшается ее качество. Это объясняется ограниченностью жесткости системы: станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД). При обработке широким резцом жестких деталей вибрации могут отсутствовать, но при этом возможно смещение резца под действием радиальной составляющей силы резания, что приводит к нарушению настройки резца на требуемый угол уклона.

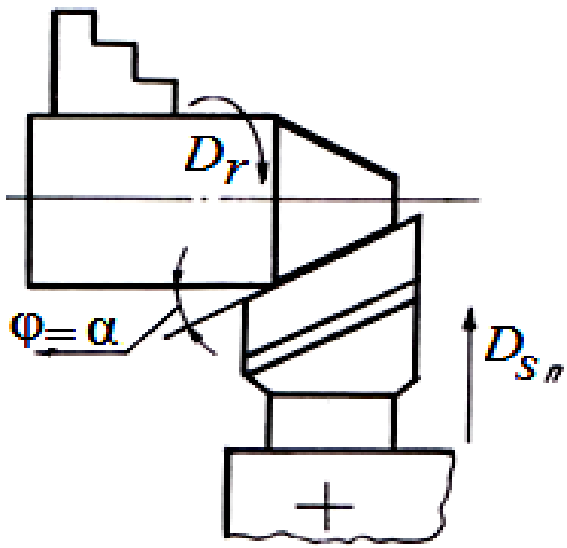


Рис. 3.2. Схема точения конуса широким резцом

Достоинства метода:

1. Простота настройки.
2. Независимость угла уклона α от габаритов заготовки.
3. Возможность обработки как наружных, так и внутренних конических поверхностей.

Недостатки метода:

1. Ручная подача.

2. Ограниченность длины образующей конуса длиной режущей кромки резца (10 – 12 мм). При увеличении длины режущей кромки резца возникают вибрации, приводящие к формированию волнистости поверхности.

2. Поворотом верхних салазок суппорта

Конические поверхности с большими уклонами можно обрабатывать при повороте верхних салазок суппорта с резцедержателем на угол α, равный углу уклона обрабатываемого конуса (рис. 3.3).

Поворотная плита суппорта вместе с верхними салазками может поворачиваться относительно поперечных салазок, для этого освобождают гайку винтов крепления плиты. Контроль угла поворота, с точностью до одного градуса, осуществляется по делениям поворотной плиты. Положение суппорта фиксируют зажимными гайками. Подача производится вручную рукояткой перемещения верхних салазок.

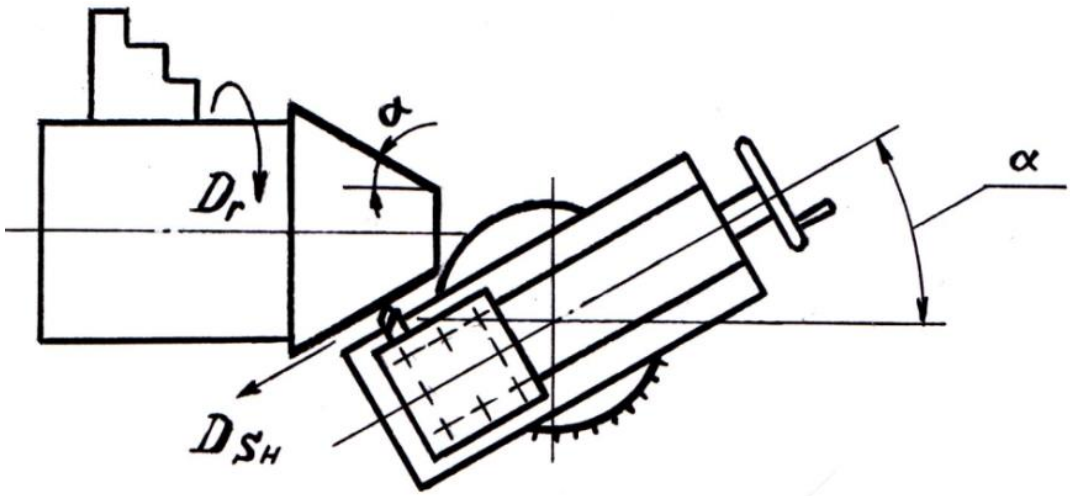


Рис. 3.3. Схема точения конуса с поворотом верхних салазок

Указанным способом обрабатывают конические поверхности, длина которых соизмерима с длиной хода верхних салазок (до 200 мм).

Достоинства метода:

1. Простота настройки.
2. Независимость угла уклона α от габаритов заготовки.
3. Обработка конуса с любым углом уклона.
4. Возможность обработки как наружных, так и внутренних конических поверхностей.

Недостатки метода:

1. Ограничение длины образующей конуса.
2. Ручная подача.

Примечание: Некоторые токарные станки (16К20, 16А30) имеют механизм передачи вращения на винт верхних салазок суппорта. На таком станке независимо от угла поворота можно получить автоматическую подачу верхних салазок.

*3.**Смещением корпуса задней бабки станка***

Конические поверхности большой длины с α = 8 – 10° можно обрабатывать при смещении задней бабки, величина которого определяется следующим образом (рис. 3.4):

$$H = L \cdot \sin \alpha,$$

где H – величина смещения задней бабки; L – расстояние между опорными поверхностями центровых отверстий.

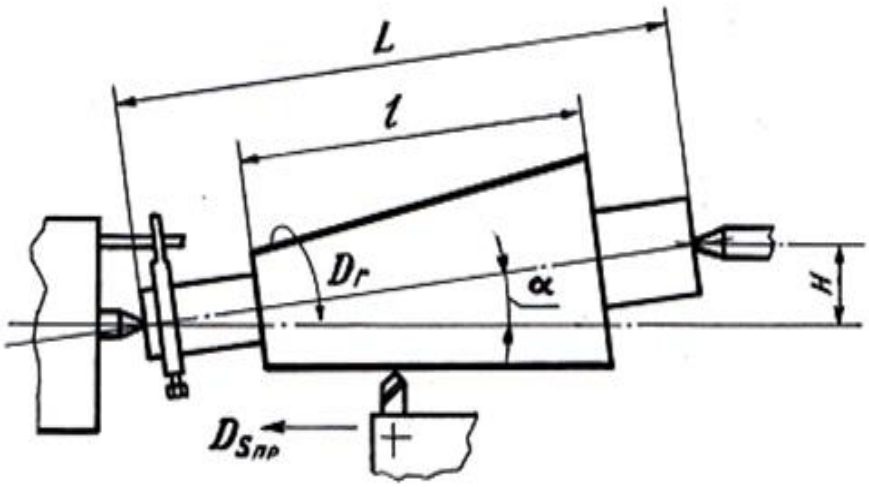


Рис. 3.4. Схема точения конуса смещением корпуса задней бабки

Из тригонометрии известно, что для малых углов синус практически равен тангенсу угла. Например, для угла 7º синус равен 0,120, а тангенс – 0,123. Способом смещения задней бабки обрабатывают заготовки с малым углом уклона, поэтому можно считать, что sin α = tg α. Тогда

$$H = L \cdot \text{tg}\ \alpha = L(D - d)/2l.$$

Заготовку устанавливают в центрах. Корпус задней бабки при помощи винта смещают в поперечном направлении так, что заготовка становится «на перекос». При включении подачи каретки суппорта резец, перемещаясь параллельно оси шпинделя, будет обтачивать ко-

ническую поверхность.

Величину смещения задней бабки определяют по шкале, нанесенной на торце опорной плиты со стороны маховика, и риске на торце корпуса задней бабки. Цена деления на шкале обычно 1 мм. При отсутствии шкалы на опорной плите величину смещения задней бабки отсчитывают по линейке, приставленной к опорной плите. Положение задней бабки для обработки конической поверхности можно определить по готовой детали. Готовую деталь (или образец) устанавливают в центрах станка и заднюю бабку смещают до тех пор, пока образующая конической поверхности не окажется параллельной направлению продольного перемещения суппорта.

Для уменьшения разбивки центровых отверстий целесообразно использовать шариковые центры. Вращение заготовке передается поводковым патроном и хомутиками.

Достоинства метода:

1. Возможность автоматической подачи.
2. Получение заготовок, соизмеримых по длине с габаритами станка.

Недостатки метода:

1. Невозможность обработки внутренних конических поверхностей.
2. Невозможность обработки конусов с большим углом ($\alpha \geq 10^{o}$). Допускается смещение задней бабки на ±15мм.
3. Невозможность использования центровых отверстий в качестве базовых поверхностей.
4. Зависимость угла α от габаритов заготовки.

4. С помощью копировальной (конусной) линейки

Распространенной является обработка конических поверхностей с применением копировальных устройств (рис.3.5).

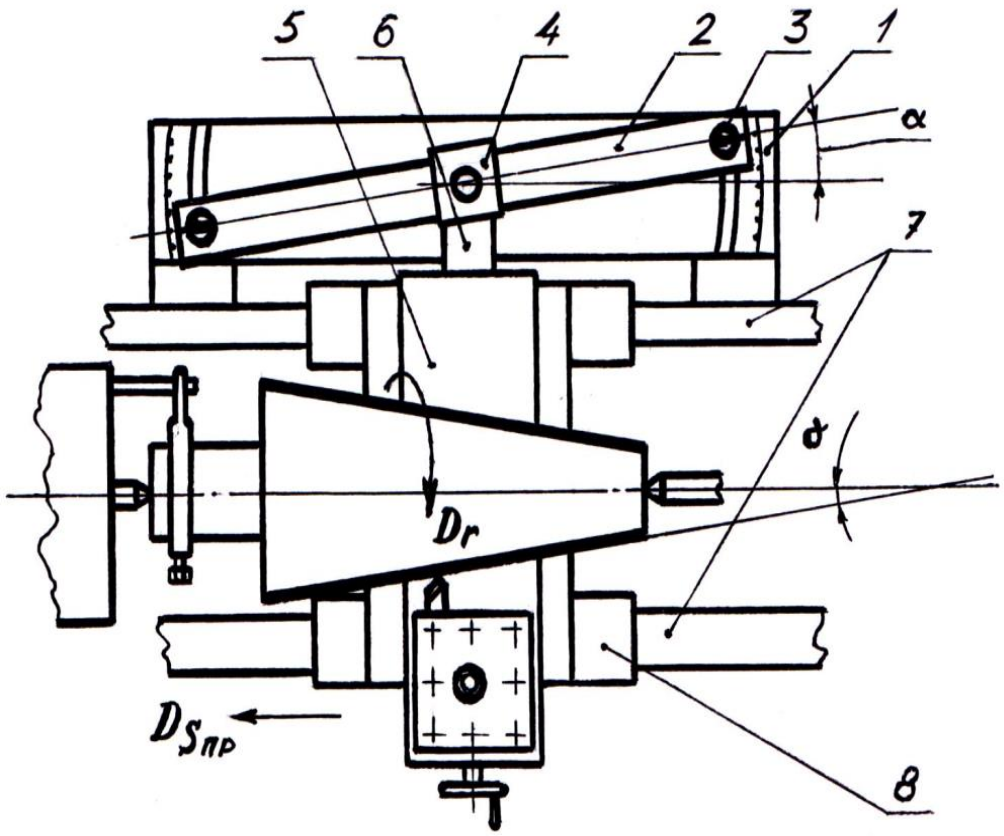


Рис. 3.5. Схема точения конуса с помощью копировальной (конусной) линейки

К станине станка крепится плита *1* с копировальной линейкой *2*, по которой перемещается ползун *4*, соединенный с поперечной кареткой верхнего суппорта *5* станка тягой *6*. Для свободного перемещения суппорта в поперечном направлении необходимо отсоединить винт поперечной подачи. При перемещении продольного суппорта *8* по направляющим станины *7* резец получает два движения: продольное от суппорта и поперечное от копировальной линейки *2*. Величина поперечного перемещения зависит от угла поворота копировальной линейки *2*. Угол поворота линейки определяют по делениям на плите *1*, фиксируют линейку болтами *3*. Подачу резца на глубину резания производят рукояткой перемещения верхних салазок суппорта.

Способ обеспечивает высокопроизводительную и точную обработку наружных и внутренних конусов с углом уклона до 20º.

Достоинства метода:

1. Механическая подача.
2. Независимость угла уклона конуса α от габаритов заготовки.
3. Возможность обработки как наружных, так и внутренних поверхностей.

Недостатки метода:

1. Ограничение длины образующей конуса длиной конусной линейки (на станках средней мощности – до 500 мм).

2. Ограничение угла уклона шкалой копировальной линейки.

Для обработки конусов с большими углами уклона сочетают смещение задней бабки и наладку по конусной линейке. Для этого линейку поворачивают на максимально допустимый угол поворота α′, а смещение задней бабки рассчитывают как при обточке конуса, у которого угол уклона равен разности между заданным углом α и углом поворота линейки α′, т. е.

$$H = L \cdot \mathrm{tg}\,(\alpha - \alpha').$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и кинематическую схему данной модели токарно-винторезного станка.

2. По кинематической схеме коробки скоростей данного станка определить число частот вращения, передаваемое на шпиндель станка, найти механизм перебора, определить, во сколько раз механизм перебора понижает частоту вращения шпинделя.

3. Ознакомиться с эскизом изготавливаемой детали. Рассчитать угол поворота верхних салазок. Выбрать резцы для обработки данной детали. Установить верхние салазки суппорта в соответствии с рассчитанным углом, обточить конусную поверхность при заданном режиме.

Содержание отчета

Отчет оформляется после выполнения работы на станке. Отчет выполняется на бланке. *В отчете указывается следующее:*

1. Расположение механизма перебора (на схеме станка) и его передаточное отношение.

2. Количество частот вращения шпинделя.

3. На эскизе обрабатываемой детали указать, резцы, которыми обрабатываются различные поверхности.

4. Привести необходимые расчеты (угол поворота верхних салазок, скорость и глубина резания).

5. Углы резца в плане, углы в сечении, материал режущей части (на эскизе).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сколько частот вращения у данной модели станка?
2. Устройство и назначение задней бабки.
3. Устройство и назначение суппорта.
4. Геометрия режущей части резца при точении конусов.
5. Какие существуют способы обработки конусов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ

Цель работы: освоить нарезание метрической резьбы плашками и метчиками: научиться выбирать режим резания и настраивать станок для нарезании резьбы.

Краткая теория

Нарезание наружной и внутренней треугольной крепежной резьбы метчиками и плашками на станках токарной группы и других станках – один из высокопроизводительных способов обработки.

На винторезном станке нарезают наружные и внутренние резьбы резцами различного профиля и шага: трапецеидальные, треугольные, прямоугольные и др. На заданный стандартный шаг резьбы станок настраивается рукоятками, на коробке подач в соответствии с таблицами, прикрепленными к станку. Для нарезания специальных резьб и резьб повышенной точности нужное передаточное отношение настраивается сменными зубчатыми колесами гитары.

Если для нарезания однозаходной резьбы станок настраивают на шаг резьбы P, то для нарезания многозаходной резьбы станок необходимо настроить на ход резьбы $H = kP$, где k – число заходов.

Многозаходные резьбы нарезают с помощью специальных устройств, обеспечивающих поворот заготовки вокруг своей оси на заданный угол, равный 360º, при неподвижном ходовом винте.

Резьбу нарезают за один или несколько проходов инструмента.

Нарезание резьбы резцами производится на токарно-винторезных станках, имеющих ходовой винт с разъемной гайкой, гитару сменных колес, коробку подач и реверсивный механизм. На

станке можно нарезать различные резьбы – наружные и внутренние, метрические и дюймовые, правые и левые, однозаходные и многозаходные, крепежные и грузовые; по форме профиля – треугольные, прямоугольные, трапецеидальные и др.

Перед нарезанием резьбы заготовку обтачивают (растачивают) до определенного диаметра, который при нарезании резьб метчиками и плашками должен быть несколько меньше или больше наружного диаметра резьбы, что объясняется наличием упругих и пластических деформаций, возникающих в материале заготовки. Выбор диаметра заготовки производится по таблицам.

Порядок выполнения работы

1. Нарезание наружной резьбы плашкой (рис. 4.1):

а) установить и закрепить заготовку в патроне станка;

б) установить рукоятки коробки скоростей в положение, соответствующее 450 об/мин (или ближайшее меньшее);

в) обточить заготовку под заданную резьбу (установить диаметр по таблице), обточить фаску;

г) проконтролировать полученный размер;

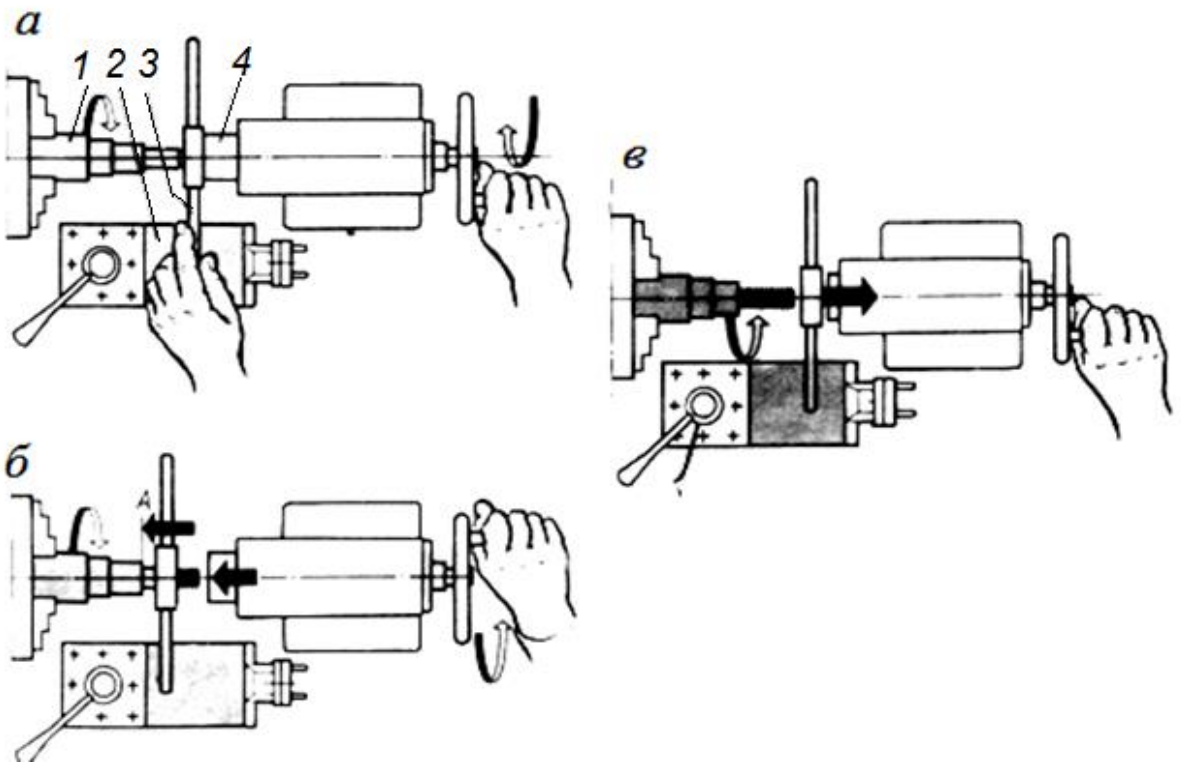


Рис. 4.1. Схема нарезания резьбы плашкой
1 – заготовка; *2* – упорная планка; *3* – плашка; *4* – пиноль

д) установить плашку в вороток, который вместе с плашкой прижимается пинолью задней бабки к заготовке, упирая одну из рукояток воротка в суппорт станка, установить рукоятки коробки скоростей в положение, соответствующее рассчитанной *скорости резания для нарезания резьбы* (ближайшее меньшее);

е) включить станок и нарезать резьбу;

ж) нарезанную резьбу проконтролировать.

2. Нарезание наружной резьбы метчиком (рис. 4.2):

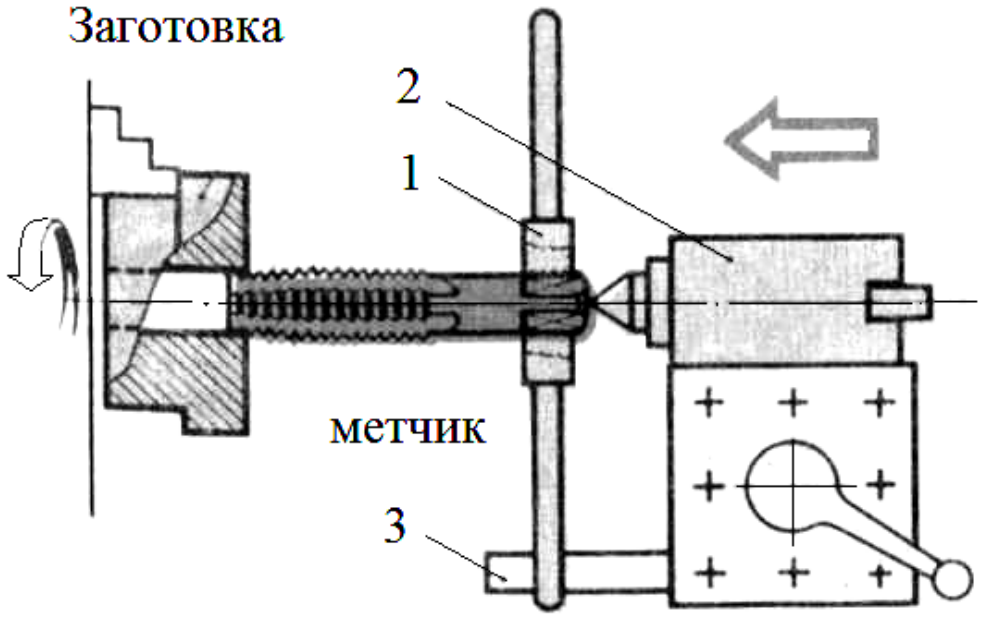


Рис. 4.2. Схема нарезания резьбы метчиком
1 – вороток; *2* – державка с центром; *3* – упорная планка

а) установить и закрепить заготовку в патроне станка;

б) установить рукоятки коробки скоростей в положение, соответствующее рассчитанной скорости резания (ближайшая меньшая);

в) сверлить отверстие под заданную резьбу (определить диаметр по таблице);

г) установить хвостовик метчика в вороток с квадратным отверстием, ввести заборную часть метчика в отверстие заготовки перемещением пиноли задней бабки, нарезать резьбу вручную;

д) нарезанную резьбу проконтролировать.

Содержание отчета

Отчет оформляется после выполнения работы на станке. Отчет выполняется на бланке. В отчете указывается следующее:

1. Схема нарезания резьбы.

2. Расположение механизма перебора (на схеме станка) и его передаточное отношение.

4. Частота вращения шпинделя.

5. Привести эскиз обрабатываемой детали с указанием резцов используемых для обработки различных поверхностей и привести необходимые расчеты (скорость резания и глубина резания).

6. Привести эскиз резца с указанием углов в плане и в сечении, материал режущей части резца.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой специальный резьбовый инструмент применяется для нарезания резьб?
2. Что используют для нарезания нестандартных резьб и профилей больших размеров?
3. Что такое шаг резьбы?
4. Что такое однозаходная резьба?
5. Что такое многозаходная резьба?
6. Что такое дюйм, и как определяется шаг дюймовой резьбы?
7. Какой угол профиля метрической резьбы?
8. Какой угол профиля дюймовой резьбы?
9. Геометрия метчика. Назначение канавок на метчике.
10. Почему диаметр заготовки под резьбу меньше, чем диаметр резьбы?
11. Чем контролируются резьбы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5
НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦОМ

Цель работы. Изучение способов настройки станка и приёмов резания резьбы резцом на токарно-винторезном станке (ТВС).

Нарезать метрическую наружную резьбу с помощью резьбового резца по заданному чертежу и рассчитать количество проходов при заданной глубине резания. Определить скорость резания, при заданной частоте вращения шпинделя.

Краткая теория

Резьбовые соединения в современном машиностроении играют одну из главных ролей для скрепления и фиксации узлов машин и приспособлений. Специальные резьбовые инструменты (лерки, метчики) используются для нарезания стандартных резьб и профилей небольших диаметров. Для нарезания нестандартных резьб и профилей больших размеров используют токарно-винторезные станки. По шагу резьбы подразделяются на **метрические**, **дюймовые**, **питчевые**.

Шаг резьбы – это расстояние между соседними гребешками или впадинами одной и той же винтовой линии. Шаг и основные параметры метрической резьбы измеряются в долях метра. Шаг дюймовой резьбы определяется количеством ниток на дюйм. У питчевой резьбы шаг измеряется в питчах (p"), что соответствует величине $p" \times \pi$, мм. У модульной резьбы шаг измеряется модулем (m), что соответствует величине $m" \times \pi$, мм.

По профилю различают следующие типы резьб: *треугольные*, в том числе *метрические*, у которых угол при вершине равен 60° (рис. 5.1, *а*), и *дюймовые*, у которых угол при вершине равен 55°

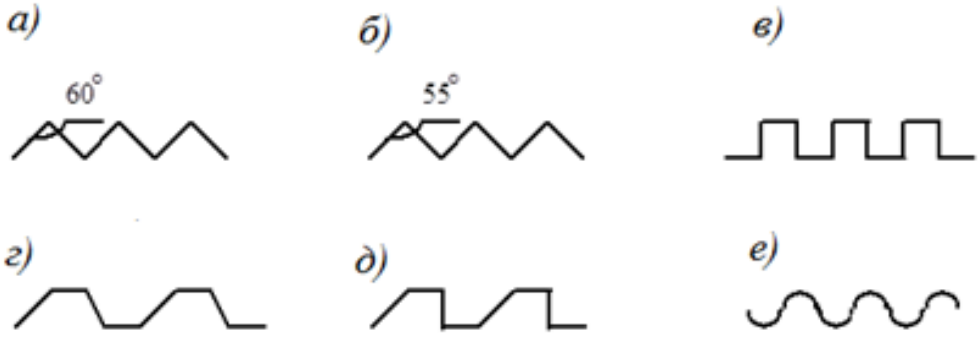


Рис. 5.1. Различные по профилю типы резьбы

(рис. 5.1, *б*); *прямоугольные* (рис. 5.1, *в*); *трапецеидальные*, или упорные (рис. 5.1, *г, д*) и *круглые* (рис. 5.1, *е*).

По числу заходов различают однозаходные и многозаходные резьбы, а по направлению захода винтовой линии – левые и правые.

Для нарезания резьбы требуемого шага токарный станок настраивается таким образом, чтобы при повороте шпинделя с заготовкой на один оборот, резец переместился на шаг нарезаемой резьбы.

Рассмотрим кинематическую цепь передачи движения с оси шпинделя до резца (рис. 5.2). Связь начального и конечного движений кинематической цепи представляет собой баланс кинематической цепи (или, просто баланс). Уравнение баланса кинематической цепи имеет вид:

$$1 \text{ об.шп.} \cdot i_{тр} \cdot i_{г} \cdot i_{кп} \cdot t_{хв} = t_{р} \qquad (1)$$

где 1 об. шп. – один оборот шпинделя;

$i_{тр}$ – передаточное отношение трензеля (*трензель* – механизм изменения направления вращения вала подач, или реверса);

$i_{г}$ – передаточное отношение гитары сменных шестерён $i_{г} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$;

$i_{кп}$ – передаточное отношение коробки подач;

$t_{хв}$ – шаг ходового винта;

$t_{р}$ – шаг резьбы.

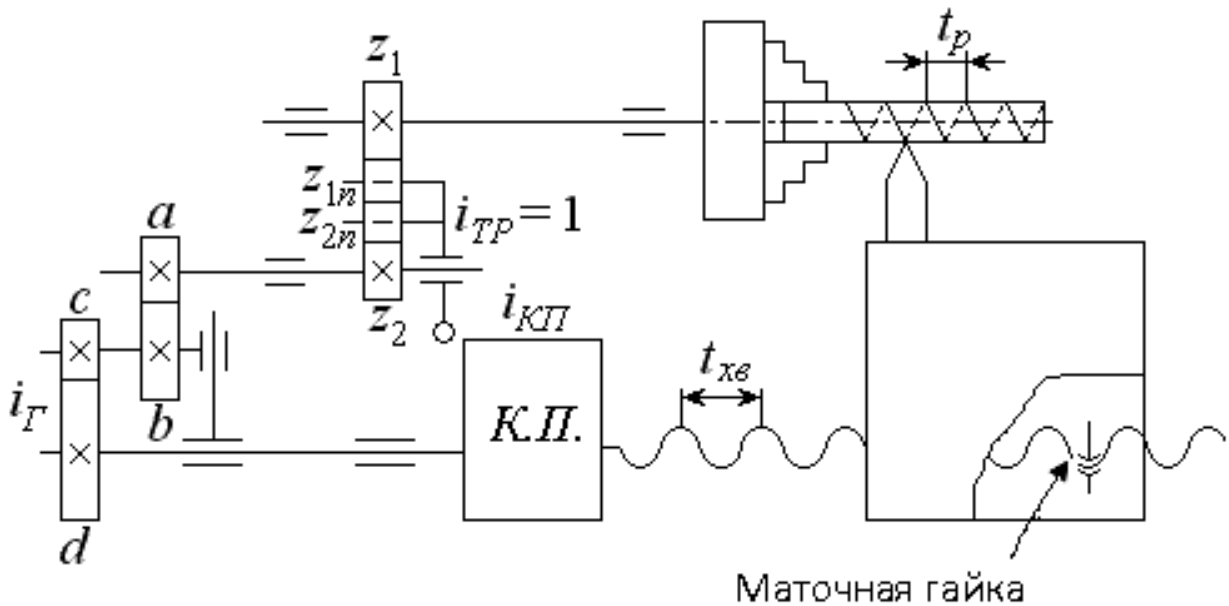


Рис. 5.2. Кинематическая цепь ТВС при нарезании резьбы

Если принять передаточные отношения трензеля и коробки подач равными единице ($i_{тр} = 1$; $i_{кп} = 1$), тогда формула (1) примет вид:

$$i_{г} = \frac{t_{р}}{t_{хв}}. \qquad (2)$$

Передаточное отношение гитары можно изменить используя набор сменных шестерён. Существуют следующие наборы сменных зубчатых колёс:

1. «чётный» набор, содержащий зубчатые колёса с числом зубьев, кратным двум: 20, 22, 24, …, 118, 120;
2. «пятковый» набор, содержащий зубчатые колёса с числом зубьев, кратным пяти: 20, 25, 30, …, 115, 120.

Для нарезания дюймовых резьб в каждом из наборов присутствует дополнительная шестерня со 127 зубьями.

Линейные перемещения суппорта при нарезании резьб осуществляются с помощью ходового винта, потому что винт не даёт проскальзывания и обеспечивает высокую точность перемещения резьбового резца. Хотя на станке присутствует ходовой валик, обеспечивающий такие же продольные перемещения, но цепь передачи движения с помощью ходового валика включает фрикционные муфты, которые не гарантируют точности перемещения резца. Передача движения от ходового винта к суппорту производится с помощью разъёмной маточной гайки, состоящей из двух половин (см. рис. 5.2).

Настройка гитары сменных шестерён

Преобразование передаточного отношения гитары в равное ему, но с числами, соответствующими числам зубьев колёс, производится с помощью следующих приёмов:

1) разложением числителя и знаменателя на простые кратные множители;
2) группировкой произведения двух независимых дробей;
3) проверкой полученных пар шестерен на сцепляемость зубьев.

Условия сцепляемости сменных колёс во избежание задевания промежуточными колёсами соседних валов:

$$a + b \geq c + 15 \text{ зубьев};$$
$$c + d \geq b + 15 \text{ зубьев}.$$

Коэффициент «15 зубьев» в неравенствах учитывает радиус посадочного места шестерни.

Распространённые в машиностроении токарно-винторезные станки средней мощности имеют шаг ходового винта, равный 12 мм.

Пример:

Нарезать резьбу $t_р = 6$ мм, если $t_{хв} = 12$ мм. Подобрать сменные зубчатые колёса гитары и проверить их на сцепляемость.

По формуле (2) находим передаточное отношение гитары колес:

$$i_г = \frac{t_р}{t_{хв}} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}.$$

Разложим числитель и знаменатель на простые сомножители:

$$i_г = \frac{1}{2} = \frac{6}{12} = \frac{2 \cdot 3}{3 \cdot 4}.$$

Умножим сомножители числителя и знаменателя на одно и то же число:

$$i_г = \frac{2 \cdot 3}{3 \cdot 4} = \frac{2 \cdot (10) \cdot 3 \cdot (15)}{3 \cdot (10) \cdot 4 \cdot (15)}.$$

Сгруппируем произведения двух независимых дробей:

$$i_г = \frac{20 \cdot 45}{30 \cdot 60} = \frac{20}{30} \cdot \frac{45}{60}.$$

Откуда имеем: $$i_г = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{20}{30} \cdot \frac{45}{60}.$$

Значит, числа зубьев колёс $a = 20;\ b = 30;\ c = 45;\ d = 60$.

Найденные числа зубьев колёс не должны повторяться, так как в наборе имеется только по ***одной*** *шестерне с определённым числом зубьев!!!*

Проверим, выполняются ли условия сцепляемости:

$$a + b = 20 + 30 = 50 \geq c + 15 = 45 + 15 = 60;$$

$$50 \geq 60.$$

Первое условие не соблюдается.

Исправить это можно следующим образом: если переставить местами сомножители, то дробь не изменится.

Запишем следующим образом:

$$i_г = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{45}{30} \cdot \frac{20}{60},$$

затем снова проверим выполнение условий сцепляемости:

$$a+b=45+30=75\geq c+15=20+15=35;$$
$$75\geq 35;$$
$$c+d=20+60=80\geq b+15=30+15=45;$$
$$80\geq 45.$$

Условия выполняются, значит, подбор произведён правильно.

Такая настройка ведётся на станках, у которых либо отсутствует коробка подач, либо она – простейшая (с $i_{кп}=\frac{1}{2};\frac{1}{4};\frac{1}{8}$).

Современные станки имеют коробки подач с большой разрешающей способностью, что даёт возможность нарезать резьбу с шагом от десятых долей до нескольких миллиметров, при этом гитара сменных шестерён состоит всего из четырёх шестерён. Настройка на нарезание резьбы сводится к проверке последовательности сменных шестерён гитары и к установке рукояток коробки подач в определённое положение согласно настроечной таблице (табл. 5.1).

Современные станки имеют коробки подач с большой разрешающей способностью, что даёт возможность нарезать резьбу с шагом от десятых долей до нескольких миллиметров, при этом гитара сменных шестерён состоит всего из четырёх шестерён. Настройка на нарезание резьбы сводится к проверке последовательности сменных шестерён гитары и к установке рукояток коробки подач в определённое положение согласно настроечной таблице (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1

Настроечная таблица станка 1616

A	I	|	/	|	/	|	\	|	|	\	\
B	II	|	|	/	|	/	/	/	\	\	/
C	III	|	|	/	/	/	\	/	/	\	|
D	IV	|	/	\	\	/	|	|	\	/	|
$t_р$, мм		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
B	I	\	|	\	|	\	/	\	\	/	/
A	II	|	|	/	|	/	/	/	\	\	/
C	III	|	|	/	/	/	\	/	/	\	|
D	IV	|	/	\	\	/	|	|	\	/	|
$t_р$, мм		1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
A	I	|	/	|	/	|	\	|	|	\	\
B	II	|	|	/	|	/	/	/	\	\	/
D	III	/	/	\	\	\	|	\	\	|	/
C	IV	|	/	\	\	/	|	|	\	/	|
$t_р$, мм		6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	11	12

Пример использования таблицы

Находим нужный шаг нарезаемой резьбы, например 3 мм. По настроечной таблице (находится на коробке подач станка) устанавливаем сменные шестерни *A, B, C, D* в необходимой последовательности. Определяем по таблице положение рукояток I, II, III, IV, соответствующее шагу нарезаемой резьбы $t_р = 3$ мм, и переключаем рукоятки КП в нужное положение. Станок настроен для нарезания резьбы.

Приёмы нарезания треугольной резьбы

При нарезании резьбы происходит изменение внешних размеров резьбы (подъём резьбы) за счёт деформации и течения металла по направлению к свободному краю профиля. Поэтому номинальный наружный размер под резьбу следует несколько уменьшать, а внутренний – увеличивать в зависимости от пластических свойств материала и размеров профиля резьбы.

На выходе резьбы (рис. 5.3) делается канавка *1* шириной до трёх шагов резьбы и глубиной немного больше высоты профиля или предусматривается на такой же длине «сбег» резьбы.

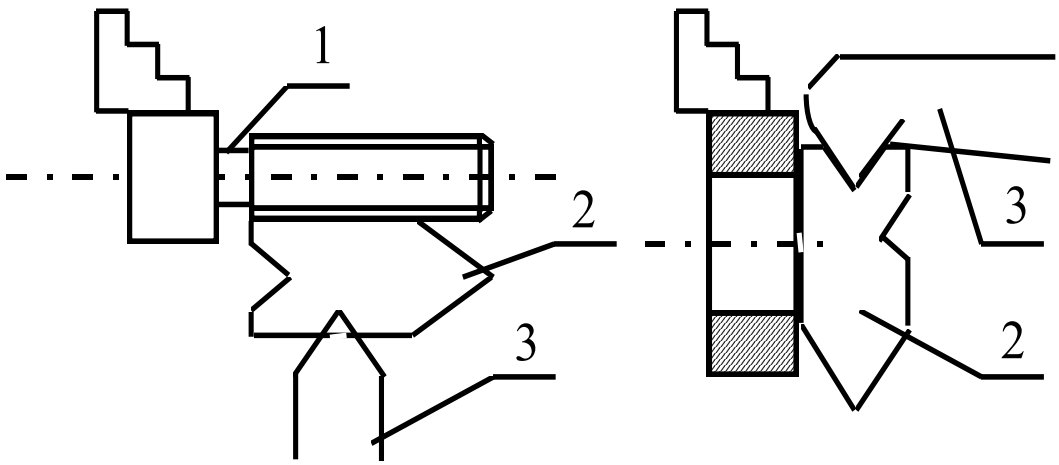


Рис. 5.3. Установка резца по шаблону

Установка резца *3* должна производиться точно по высоте центр*о*в станка во избежание искажения профиля резьбы, а ориентирование его по отношению к заготовке делается по шаблону *2* (см. рис. 5.3). По этому же шаблону проверяется точность заточки профиля резца.

Резьба нарезается за несколько проходов, число которых зависит от размеров резьбы. Схема нарезания резьбы резцом приведена

на рис. 5.4. Например, для резьбы с шагом 2 – 3 мм делается 7 – 10 проходов. Последние три прохода – чистовые, выполняются при уменьшающейся глубине врезания.

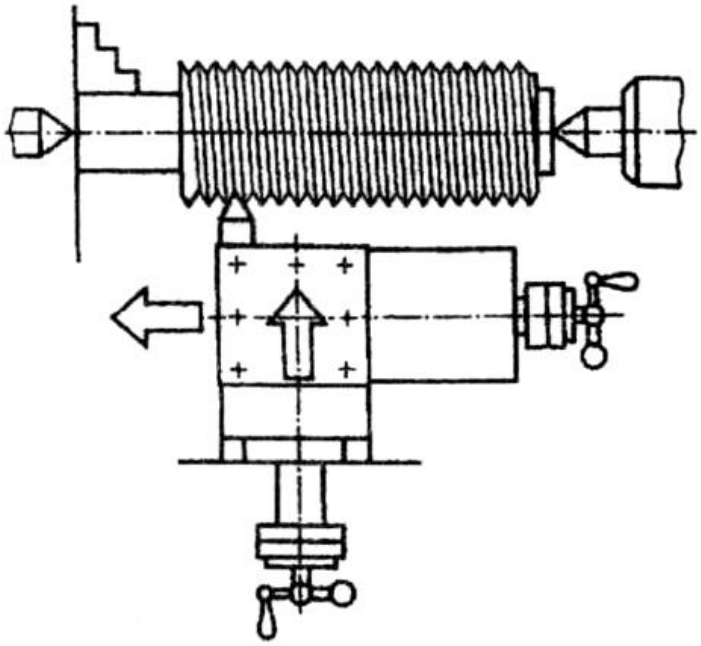


Рис. 5.4. Схема нарезания резьбы резцом

Материалы и оборудование

Цилиндрическая заготовка (низкоуглеродистая сталь марки Ст3), штангенциркуль, резьбовые резцы, резьбомер, токарно-винторезные станки типа 1А61, 1616.

Задания для индивидуальной работы

По варианту задания (табл. 5.2) рассчитать сменные шестерни и проверить на условие сцепляемости, если $t_{хв}$ = 12 мм.

Таблица 5.2

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_р$, мм	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теорией нарезания резьб.
2. Выполнить расчет шестерен по варианту, заданному преподавателем (табл. 2).

3. С помощью учебного мастера произвести настройку гитары шестерен и станка для одного из расчётных заданий и изготовить резьбу:

а) установить и закрепить заготовку;

б) установить рукоятки коробки скоростей в положение, соответствующее рассчитанной скорости резания (или ближайшее меньшее);

в) обточить заготовку под требуемый размер резьбы (табл. 5.3), обточить фаску, проточить канавку для выхода резьбового резца;

г) настроить токарно-винторезный станок на заданный шаг нарезаемой резьбы;

д) рассчитать по заданной скорости резания частоту вращения шпинделя;

е) установить резец на требуемую глубину резания для первого прохода (0,3 … 0,5 мм) по лимбу поперечной подачи суппорта;

ж) сделать первый ход, включив станок и разъемную гайку ходового винта; при втором и последующих ходах глубину резания уменьшить на 0,3 … 0,1 мм, относительно глубины резания первого хода;

з) нарезанную резьбу проконтролировать.

Таблица 5.3

Основные размеры метрической резьбы

Диаметр резьбы, мм	Шаг, *P,* мм	Диаметр стержня, мм	
		наибольший	допуск
3,0	0,5	2,94	- 0,06
4,0	0,7	3,92	- 0,08
5,0	0,8	4,92	- 0,08
6,0	1,0	5,92	- 0,08
8,0	1,25	7,90	- 0,10
10,0	1,5	9,90	- 0,10
12,0	1,75	11,88	- 0,12
14,0	2,0	13,88	- 0,12
16,0	2,0	15.88	- 0,12

Скорость резания выбирают в зависимости от обрабатываемого сплава, материала, из которого изготовлен инструмент, диаметра и шага резьбы. При нарезании резьбы метчиками в заготовках из стали, рекомендуется скорость резания 12 м/мин, а из чугуна, бронзы и алюминия – 4 … 20 м/мин. При нарезании резьбы плашками реко-

мендуются следующие скорости резания: для стали – 3 ... 4 м/мин, для чугуна и бронзы – 2 … 3 м/мин, для латуни – 9 … 15 м/мин. Обработку ведут с охлаждением.

Содержание отчета

Отчет оформляется до выполнения работы на станке на бланке.

В отчете указывается следующее:

а) эскизы обрабатываемых деталей (на картах эскизов);

б) на картах эскизов изобразить инструмент, которым обрабатывается поверхность под резьбу, диаметр заготовки, глубина резания, скорость резания, частота вращения шпинделя;

в) указать на картах эскизов инструмент, которым нарезается резьба, диаметр заготовки под резьбу, глубину резания, количество ходов и величину подачи при нарезании резьбы резцом, частоту вращения шпинделя, скорость резания при нарезании резьбы; определить основное технологическое время;

г) на эскизах инструмента, использованного в работе, указать значения углов и материал режущей части;

д) представить готовую деталь.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой инструмент применяется для нарезания резьб?
2. На каких станках нарезаются резьбы резцом?
3. Назначение ходового винта и разъемной гайки.
4. Геометрия резьбового резца.
5. Какой специальный резьбовый инструмент применяется для нарезания резьб?
6. Что используют для нарезания нестандартных резьб и профилей больших размеров?
7. Что такое шаг резьбы?
8. Что такое однозаходная резьба?
9. Что такое многозаходная резьба?
10. Что такое дюйм, и как определяется шаг дюймовой резьбы?
11. Какой угол профиля метрической резьбы?
12. Какой угол профиля дюймовой резьбы?
13. Запишите и расшифруйте уравнение кинематического баланса.
14. Какие существуют наборы зубчатых колёс?
15. Что такое “четный” набор?
16. Что такое “пятковый” набор?
17. Каков диапазон чисел зубьев зубчатых колёс в наборе?

18.Для чего нужна дополнительная шестерня со 127 зубьями?
19.Почему при нарезании резьб используется ходовой винт, а не валик?
20.Что такое маточная гайка?
21.Что такое условие сцепляемости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Цель работы: практическое ознакомление с основными типами осевого инструмента – свёрл, зенкеров и разверток, их конструктивными особенностями и геометрическими параметрами, с методикой измерения их геометрии.

Краткие сведения о свёрлах

Свёрла предназначены для сверления отверстий в сплошном металле, для рассверливания уже имеющихся отверстий, для рассверливания конических углублений. Точность обработки 11–12 квалитет, шероховатость поверхности $Rz = 40$ мкм.

Различают следующие типы свёрл: спиральные с цилиндрическим и коническим хвостовиком, центровочные, перовые, ружейные, кольцевого сверления и другие (рис. 6.1).

Конструктивно сверло имеет форму цилиндрического стержня с рабочей и зажимной частями (рис. 6.1*а*). На рабочей части расположены два режущих зуба, имеющих форму клина (рис. 6.2). Передняя поверхность клина, по которой сходит стружка, представляет собой линейчатую конволютную винтовую поверхность. Задняя поверхность, обращенная к поверхности заготовки, может быть конической, винтовой или плоской.

Процесс резания выполняется режущими кромками (лезвиями): двумя главными, поперечной (в центральной части сверла, на неё приходится 40 % работы) и двумя вспомогательными, шириной $f = 0{,}5 \ldots 3$мм. Вспомогательные кромки формируют поверхность отверстия, не имея задних углов ($\alpha = 0$). Это цилиндрические ленточки, направляющие сверло в отверстие. Режущая способность сверла определяется его геометрическими параметрами: углами γ, α, 2φ, φ^1, ψ.

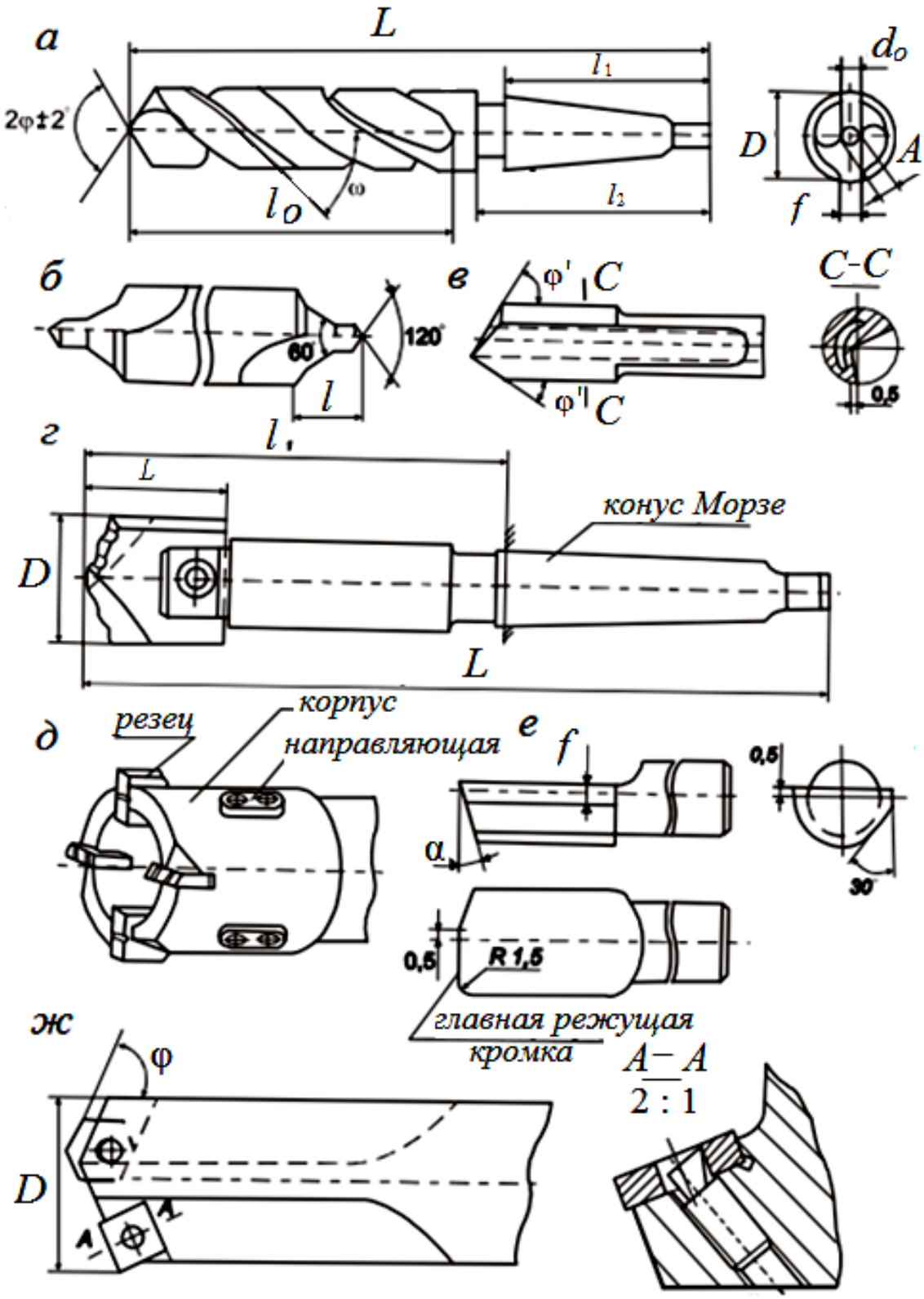


Рис. 6.1. Типы свёрл:
а – спиральные; *б* – центровое; *в* – ружейное; *г* – паровое сборное с пластиной из быстрорежущей стали; *д* – кольцевое; *е* – однокромочное пушечное; *ж* – сборное с МНП

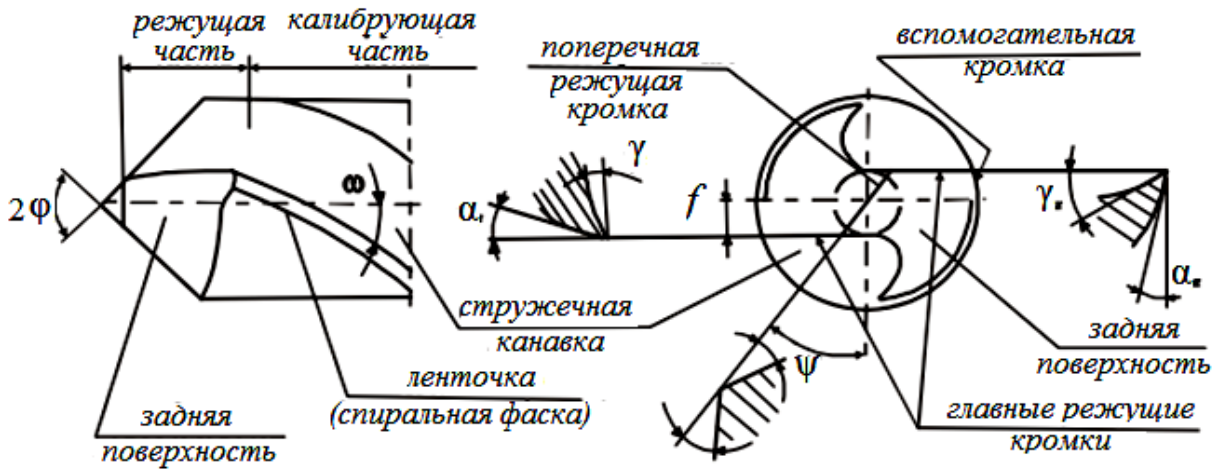


Рис. 6.2. Рабочая часть сверла

На направляющей части имеются глубокие винтовые канавки, по которым удаляется от режущих лезвий и отводится стружка. С увеличением угла наклона этих канавок отвод стружки улучшается, но снижается прочность сверла.

Зажимная часть имеет форму цилиндрического или конического хвостовика, служит для закрепления сверла и передачи крутящего момента.

В процессе резания свёрла изнашиваются по передним и задним поверхностям (главным и вспомогательным). Интенсивнее изнашиваются по уголкам (место перехода главной режущей кромки во вспомогательную режущую кромку). Восстановление режущих способностей свёрл осуществляется переточкой по главной задней поверхности. В зависимости от метода заточки сверла, задняя поверхность может иметь вид участка конической поверхности, винтовой поверхности или плоскости.

Измерение конструктивных и геометрических параметров сверла

В работе используются: набор свёрл, универсальный угломер, штангенциркуль, микрометр, установка для измерения заднего угла сверла (рис. 6.3).

Установка состоит из стола *1*, на котором размещены оптической головки *2*, стойки *3* с индикатором *4* и микрометрического винта *5*. Для измерения спада затылка сверло *8* с помощью переходных конусов устанавливается в конусе делительной головки. Индикатор помещается в центр сверла.

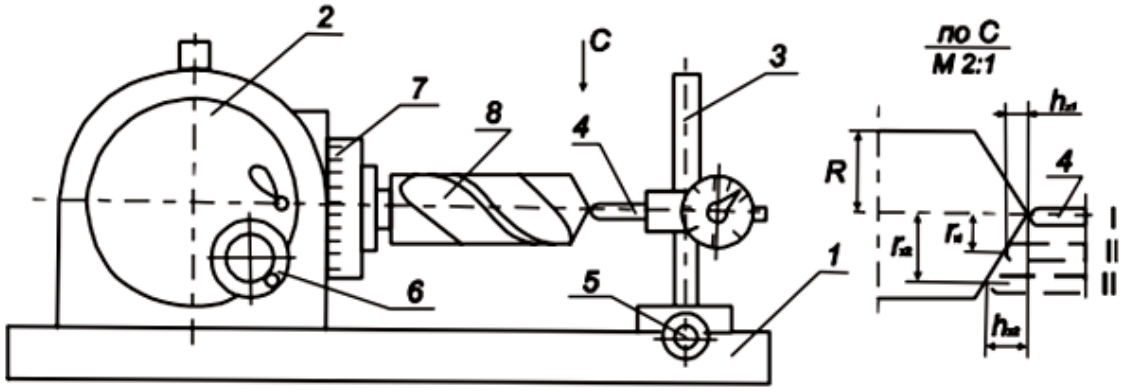


Рис. 6.3. Установка для измерения заднего угла сверла.

Ход ножки индикатора должен быть выбран полностью. После этого микрометрическим винтом отводят индикатор от центра сверла на величину, равную (2; 4; 6 мм), и устанавливают стрелку индикатора на «0». Маховиком *6* поворачивают сверло на некоторый угол τ_x (он может принимать любое значение в интервале 10 ... 30°), который фиксируется по лимбу *7*. На индикаторе *4* отмечают падение затылка на расстоянии 4; 6; 8; 10 мм от центра сверла.

Задний угол сверла на любом расстоянии от оси определяется по формуле:

$$\mathrm{tg}\alpha_x = \frac{180\, h_x}{\pi r_x \tau_x},$$

где h_x - величина спада затылка сверла, измеряется индикатором 4;

r_x - радиус сверла, на котором измеряется спад затылка;

τ_x - угол поворота сверла при измерении спада затылка.

Подставляя величины (h_{x1}, r_{x1}, τ_{x1}) в формулу, определяют значения заднего угла α_1. Затем увеличивают значение r_x до 6; 8 мм и получают новые значения α и γ.

По полученным данным строят график изменения заднего угла по длине режущей кромки (график функции $\alpha = f(R)$)

Передний угол в осевом направлении на тех же диаметрах определяется по формуле

$$\mathrm{tg}\gamma_x = \frac{r_x \mathrm{tg}\omega}{R\sin\varphi},$$

где, r_x -радиус, на котором определяется задний угол; R - наружный радиус сверла; ω- угол наклона винтовой канавки сверла, определяется угломером по отпечатку, полученному путём прокатывания сверла по бумаге.

По полученным значениям переднего угла строят график изме-

нения его по длине режущей кромки (график функции $\alpha = f(R)$).

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с основными типами свёрл.
2) Изучить приборы для измерения геометрии сверла.
3) Изучить методику измерения геометрии сверла.
4) Выполнить эскиз спирального сверла и указать все его конструктивные элементы и геометрические параметры.
5) Измерить задние углы в трех - четырех точках режущей кромки.
6) Рассчитать передние углы на режущей кромке сверла в тех же точках.
7) Выполнить эскиз режущего клина на режущей и калибрующей частях развёртки и указать значение геометрических параметров.
8) Построить графики измерения переднего и заднего углов сверла по длине режущей кромки.

Краткие сведения о зенкерах и развертках

Зенкеры предназначаются для увеличения диаметров цилиндрических отверстий, исправления оси отверстия, обработки цилиндрических и конических углублений, а также торцевых поверхностей.

Точность отверстия после обработки зенкером увеличивается до 9-10-го квалитета, а шероховатость снижается до Rz =20 мкм. Припуск под зенкерование составляет до 4-5 мм.

По конструкции их можно разделить: а) хвостовые – цельные, оснащённые пластинками твердого сплава, и сборные; б) зенковки для обработки цилиндрических и конических углублений; в) цековки для обработки торцевых поверхностей (рис. 3.1).

Хвостовые зенкеры по конструкции аналогичны свёрлам, но имеют 3-4 режущих зуба, увеличенный диаметр сердцевины, т.к. снимают меньше металла с отверстия, не имеют поперечной режущей кромки.

Развёртки, предназначены для окончательной обработки отверстий, снимают тонкие слои металла. Точность обработки по 7-9-му квалитету, шероховатость поверхности может достигать Ra = 1,25... 0,63 мкм (рис. 3.2). В практике встречаются разнообразные типы развёрток: а) цилиндрические; б) конические; в) ручные; г) машинные цельные и сборные; д) конические под конус Морзе, под

метрический конус и с конусностью 1:30 и меньше; е) разжимные (регулируемые).

Развёртка – это многозубый инструмент. Рабочая часть ее состоит из заборной (режущей) с углом φ и калибрующей частей.
Нагрузка на зуб очень мала, объём стружки также мал, поэтому стружечные канавки небольшие. Передний угол режущих клиньев принимается равным нулю, и процесс резания сходен со скоблением. Для сохранения прочности зуба задние углы α = 6...10°.

Для того, чтобы микрометром можно было замерить диаметр калибрующей части, число зубьев развёртки всегда делается чётным

Крепежная часть должна обеспечить соосность развёртки и обрабатываемого отверстия. Поэтому её закрепляют в самоустанавливающихся патронах.

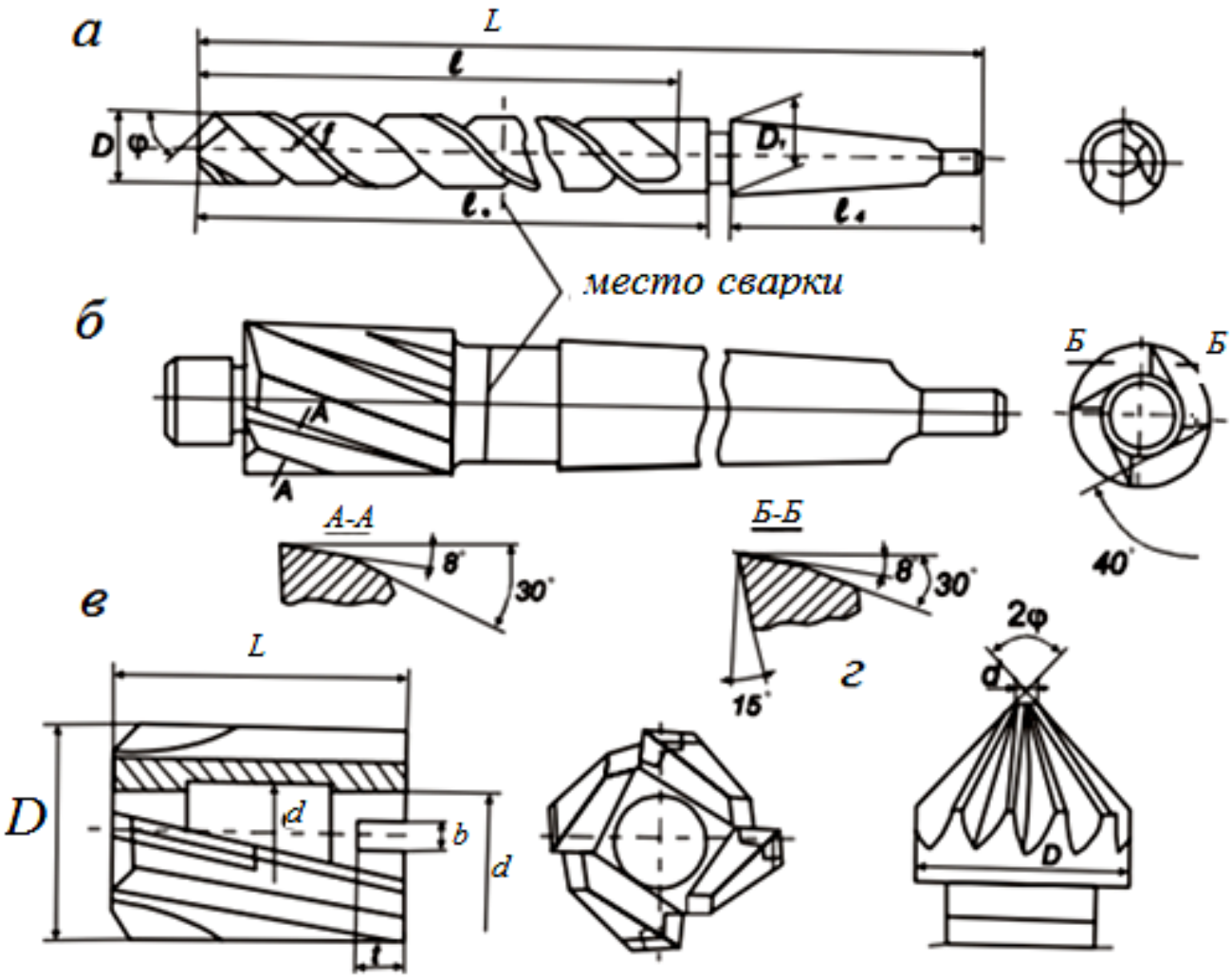


Рис. 6.4. Типы зенкеров:
а - с коническим хвостовиком; *б* - зенковка цилиндрическая;
в – насадная; *г* - зенковка коническая

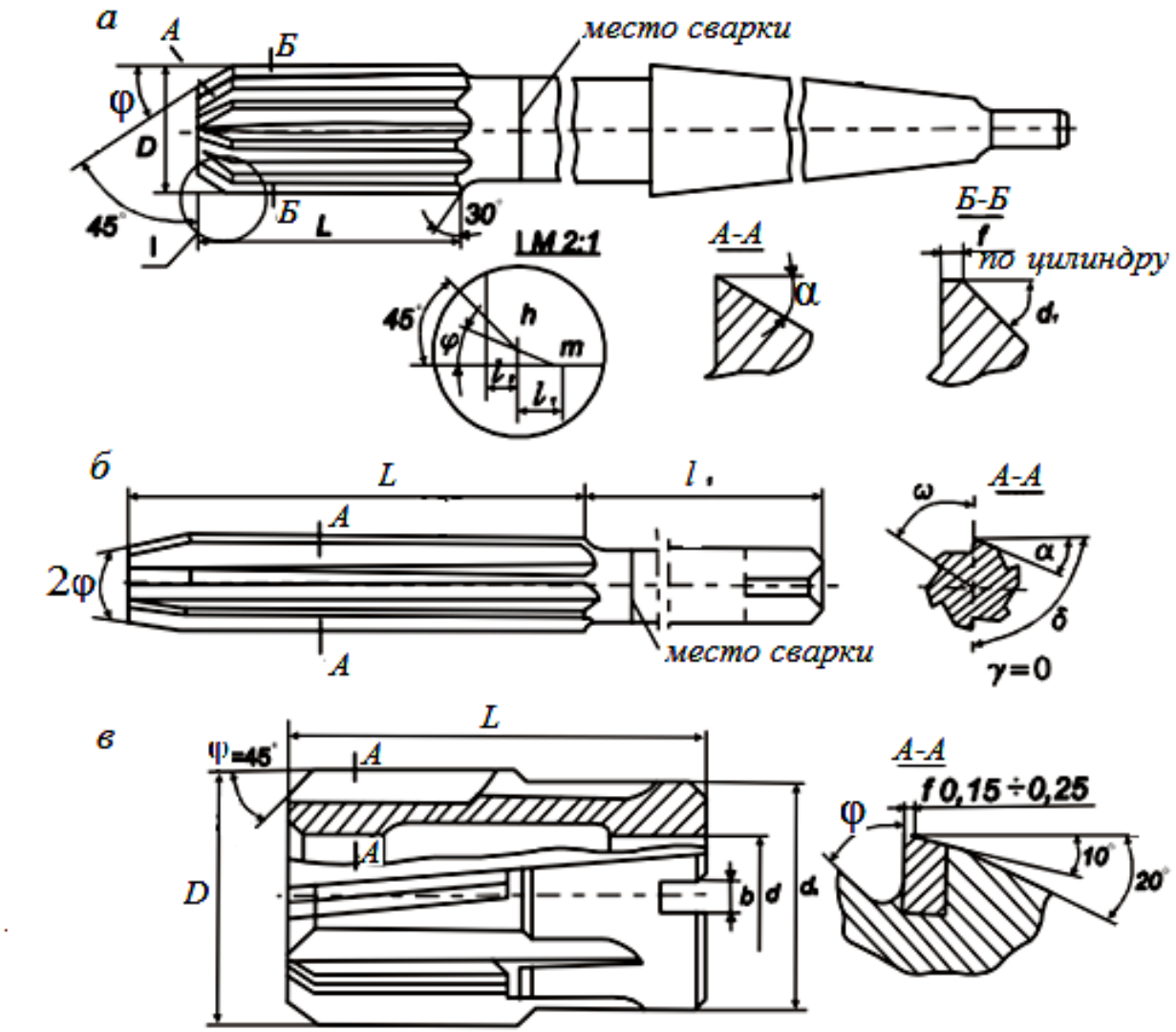


Рис. 6.5. Развёртки:
а - цилиндрическая машинная, *б* - цилиндрическая ручная, *в* - насадная машинная.

Машинные и ручные развёртки различаются рабочей и хвостовой частями. В машинных развёртках рабочая часть короткая $L = (1{,}2 – 1{,}5)D$, где D – диаметр развёртки, у ручных – $L \approx 50$. Угол в плане φ у машинных развёрток принимается равным 15 – 45°, в ручных развёртках φ = 1,5 ... 5° – для лучшего направления и центрования.

У машинных развёрток хвостовик оформлен в виде конуса с лапкой, а у ручных он короткий, цилиндрический с квадратом (рис. 6.5).

Развёртка выполняется с прямыми и винтовыми зубьями. Последние обеспечивают более высокое качество обработанной поверхности, лучше центрируются, могут применяться для обработки не сплошных цилиндрических поверхностей. Для повышения качества

обработки поверхностей (устранения огранки) зубья развёртки располагаются с переменным окружным шагом.

В работе используются: штангенциркуль, микрометр, универсальный угломер, набор зенкеров и разверток.

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с основными типами осевого инструмента и их конструкцией.

2) Изучить инструменты для измерения геометрических и конструктивных элементов осевого инструмента.

3) Выполнить эскиз выданного инструмента, указать все его размеры и геометрические параметры.

4) Произвести замеры основных элементов инструмента

Содержание отчёта

Отчет выполняется на бланке. В отчете указывается следующее:

1. Цель работы.
2. Перечисление основных видов осевого инструмента.
3. Эскиз инструмента.
4. Таблица с результатами измерения конструктивных элементов и геометрических параметров инструмента (см. бланк отчета).
5. Таблица с результатами измерения величин заднего и переднего углов (см. бланк отчета).
6. Привести схему обработки данным инструментом.
7. Указать один станок для выполнения обработки данным инструментом. Модель станка расшифровать.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и основные типы свёрл.
2. Назовите рабочие поверхности режущего клина сверла, режущие кромки и укажите их назначение.
3. Как отводится стружка от режущих кромок сверла?
4. Какие формы может иметь задняя поверхность сверла и в каких типах свёрл она применяется?
5. Как измеряется задний угол сверла?
6. Какими величинами определяется задний угол сверла в рассматриваемой точке?

7. Назначение и основные типы зенкеров.
8. Назначение и основные типы развёрток;
9. Как крепится развёртка на станке?
10. Почему стружечные канавки развёртки делаются мелкими?
11. Почему зубья развёртки выполняются чётными?
12. Каковы преимущества развёрток с винтовыми зубьями?
13. Чем конструктивно ручная развёртка отличается от машинной?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с основными типами фрез, их конструктивными элементами и геометрическими параметрами.

Краткие сведения о фрезах

Фрезы являются одним из самых распространенных инструментов, применяемых для обработки плоскостей, пазов, уступов, разрезки металла. По конструкции, способу крепления и назначению различают следующие виды фрез: *насадные и концевые* (рис. 7.1, *в*); *цилиндрические* (рис. 7.1, *а*), *конические (угловые) и дисковые* (рис. 7.1, *б, г*); *с прямыми, винтовыми и наклонными зубьями*; *острозаточные и затылованные* (рис. 7.1, *д*); *отрезные и пазовые и др.*

Фреза – многозубый инструмент, корпус которого может иметь форму стержня, втулки или диска. Фрезы в форме стержня устанавливаются в шпиндель станка коническим хвостовиком. Передаваемый фрезе крутящий момент зависит от сил трения на конусе. Эти фрезы называют хвостовыми или концевыми. Фрезы типа втулки или диска насаживают отверстием на специальную оправку, поэтому их называют *насадными*. Крутящий момент такой фрезе передает шпонка.

Концевые фрезы применяют для обработки уступов и глубоких пазов. Их изготовляют с 3 – 6 зубьями. Разновидностью концевых фрез являются шпоночная, концевая фреза и фреза для Т – образных пазов. Отличительными особенностями конструкции шпоночной фрезы являются наличие ленточки на цилиндрической части и число зубьев, равное двум.

К насадным фрезам относятся цилиндрические, торцевые и дисковые. Ими обрабатывают открытые плоскости, неглубокие пазы простой и сложной формы.

Каждый зуб фрезы представляет собой отдельный резец, рабочая часть которого имеет форму клина. Его передняя поверхность - плоскость, задняя поверхность (спинка) в зависимости от назначения может быть *острозаточенной* или *затылованной* (рис. 7.2).

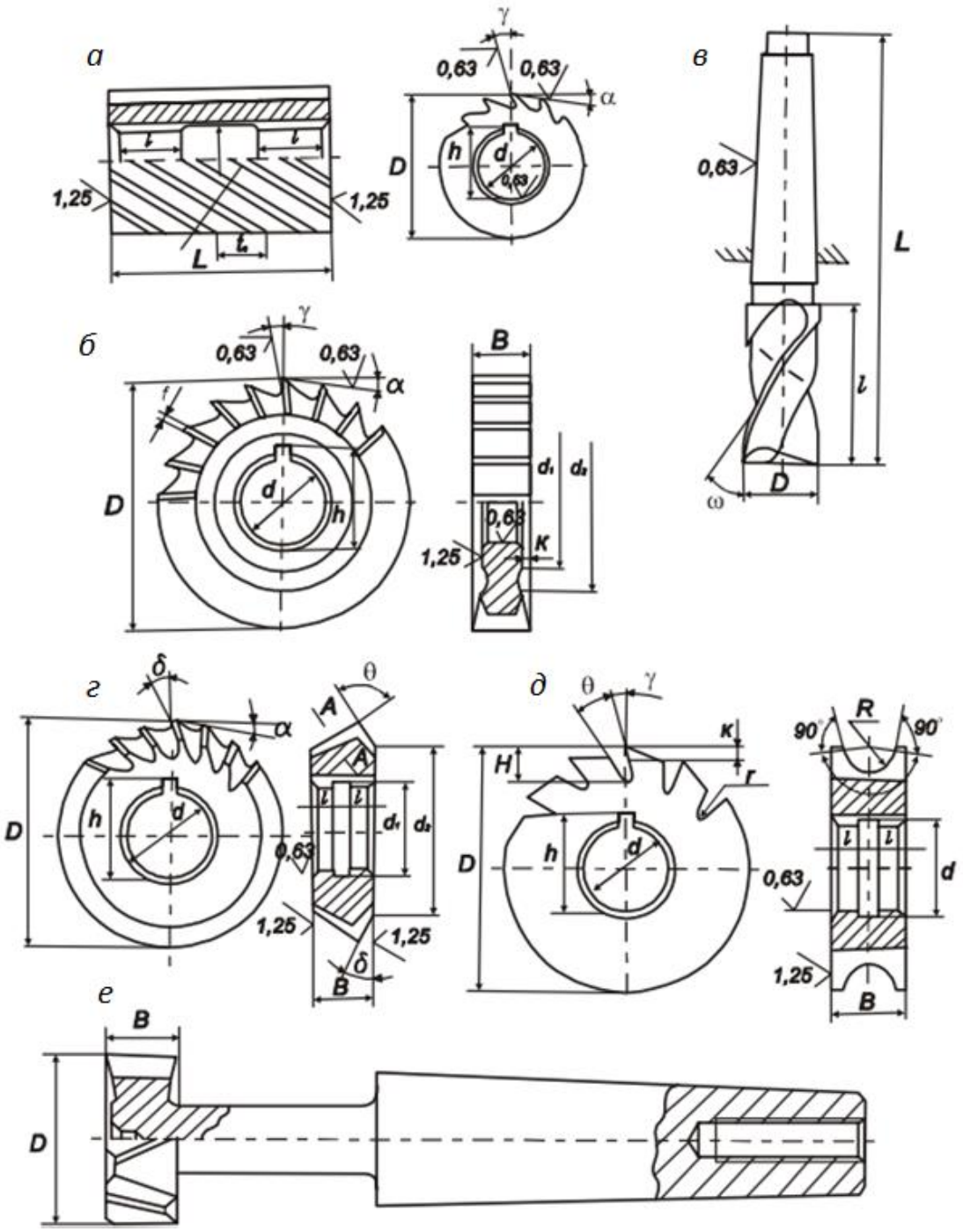


Рис. 7.1. Фрезы общего назначения:
а – цилиндрическая,*б* – дисковая трёхсторонняя, *в* – шпоночная, *г* – угловая, *д* – фасонная (затылованная), *е* – для Т-образных пазов

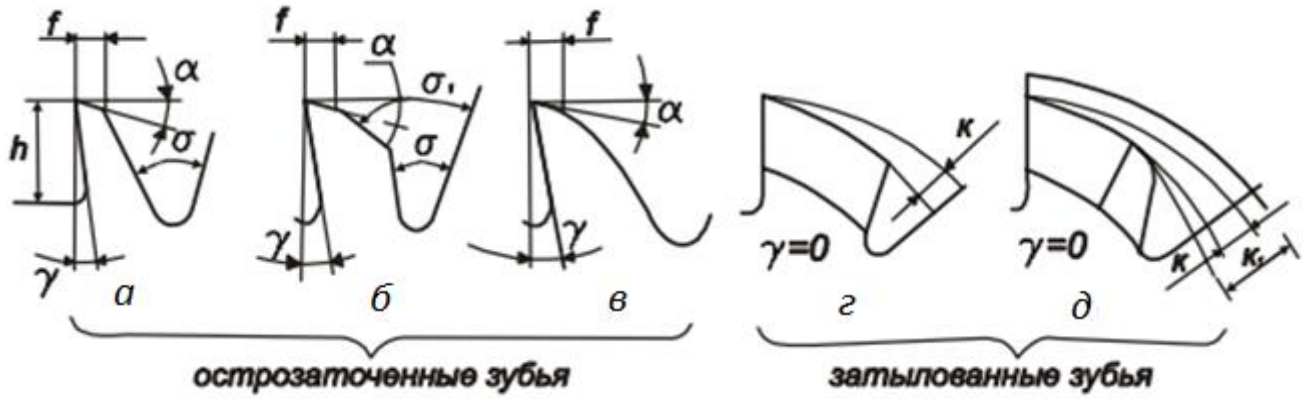


Рис. 7.2. Формы зубьев фрез

В острозаточенных фрезах спинка зуба может иметь одну из трёх форм: одно-, двухугловую или параболическую (рис. 7.2 *а, б, в*). Первая форма зуба обладает невысокой прочностью и применяется для чистовых и мелкозубых фрез. Вторая и третья формы имеют усиленную спинку и используются в черновых крупнозубых фрезах.

Фрезы, у которых режущее лезвие (кромка) имеет сложный фасонный профиль, выполняются затылованными. Задняя поверхность режущего клина оформлена на них по спирали Архимеда (рис. 7.2, *г, д*). Такая форма позволяет сохранить профиль зуба при переточках. Затылованные фрезы выполняются с одним (*г*) или двойным (*д*) затылованием. С двойным затылованием изготовляются фрезы чистовые, спинка зубьев которых шлифуется. Прошлифовать весь затылок зуба технологически невозможно, так как при выходе шлифовальный круг заденет соседний зуб. Поэтому второе затылование выполняется для того, чтобы нешлифованная часть зуба по размерам была меньше шлифованной, расположенной в начале зуба, а шлифовальный круг имел свободный выход. Эти фрезы, как правило, не имеют переднего угла ($\gamma = 0$), но при черновых работах допускается изготовление их с положительным передним углом. В этом случае точность обработки снижается.

Между зубьями фрезы расположены канавки, в которых собирается стружка. Размеры канавки должны обеспечить свободное размещение стружки. Поэтому для черновых работ, когда снимаются слои толщиной 3-8 мм, объём стружечной канавки должен быть больше, чем при чистовом фрезеровании.

Износ зуба фрезы происходит в основном по задней поверхности и по уголкам. Для восстановления режущей способности зуба надо удалить изношенный слой. Переточка остро заточенных фрез

производится по задней поверхности, а затылованных – по передней, так как задняя имеет сложный профиль.

Измерение конструктивных и геометрических параметров фрезы

В работе используются: инструментальная плита, угломер Бабчинцера, штангенциркуль, набор фрез.

Измерение геометрических параметров зуба остро заточенных фрез угломером Бабчинцера показано на рис. 7.3.

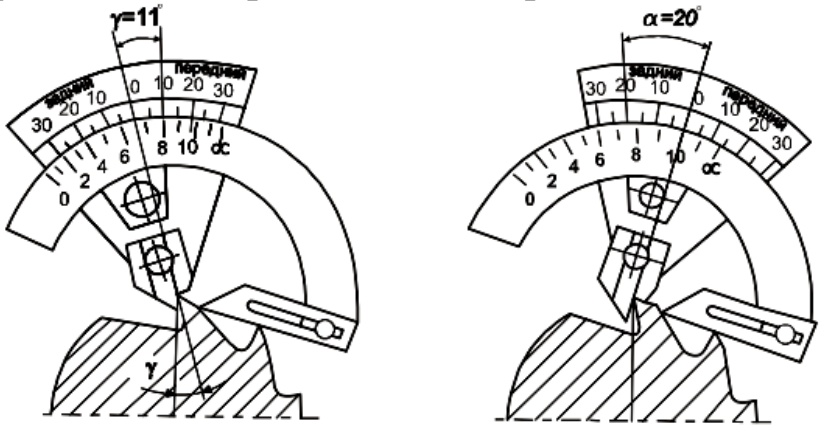


Рис. 7.3. Положение угломера при замере углов режущего зуба фрезы.

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с основными типами фрез и их конструкцией.

2) Изучить инструменты для измерения геометрических и конструктивных элементов фрез.

3) Выполнить эскиз фрезы и указать все размеры и геометрические параметры.

4) Произвести замеры основных элементов фрезы

Содержание отчёта

Отчет выполняется на бланке. В отчете указывается следующее:

1. Цель работы.
2. Перечислить основные типы фрез.
3. Эскиз фрезы с указанием всех параметров.
4. Таблица результатов измерений (см.бланк отчета).
5. Эскиз форм спинки зуба острозаточенной и затылованной фрез.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные типы фрез и укажите их назначение.
1. В чём отличие концевой фрезы от насадной?
2. Чем конструктивно отличаются фрезы для черновых и чистовых работ?
3. Каковы отличительные особенности концевой шпоночной фрезы?
4. Назовите геометрические параметры режущего клина – фрезы (острозаточенной и затылованной).
5. Назовите конструктивные формы профиля спинки острозаточенных зубьев и укажите их назначение.
6. Назовите конструктивные формы профиля задней поверхности затылованных фрез и укажите их назначение.
7. Как изнашиваются фрезы и по каким поверхностям перетачиваются?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКТА МЕТЧИКОВ

Цель работы: исследование конструкции метчиков, усвоение методики измерения основных конструктивных элементов и геометрических параметров.

Краткие сведения о метчиках

В современном машиностроении широко применяются резьбовые соединения. Нарезка резьбы на внутренней поверхности отверстия выполняется специальным режущим инструментом метчиком. Разнообразие физико-механических свойств современных конструкционных материалов обусловило необходимость создания различных конструктивных форм этих инструментов.

По конструкции различают следующие виды метчиков: а) ручные (комплектные); б) машинные; в) гаечные; г) калибровочные; д) конические; е) плашечные; ж) маточные; з) сборные; и) специальные: с винтовыми стружечными купавками, бесканавочные, переменной жесткости, с коррегированным профилем, с прерывистой резьбой (шахматное расположение витков), с бочкообразными зубьями, твердосплавные, с внутренним отводом стружки, резьбонарезные головки, раскатники и др.

Рассмотрим применение наиболее распространённых метчиков.

Гаечные метчики применяются для нарезки резьбы в гайках. Они имеют длинную хвостовую часть, на которой после нарезки резьбы этим метчиком собираются гайки. Хвостовик может быть прямой или изогнутой формы. Метчики с прямым хвостовиком применяются на многошпиндельных гайконарезных станках периодического действия, метчики с изогнутыми хвостовиками на одношпиндельных гайконарезных станках непрерывного действия.

Машинные метчики используются для нарезания резьбы на станках. Метчики для цилиндрических резьб имеют короткие рабочую и хвостовую части. Для фиксации метчика в патроне станка на хвостовой части имеются кольцевая выточка и квадрат.

Ручные метчики применяются для нарезки резьбы вручную. Для облегчения резания их выпускают в комплекте (по два-три) для работы поочередно. Метчики комплекта имеют разные по величине диаметры и профиль резьбы. Полный профиль имеет только чистовой метчик. Каждый метчик маркируется: резьба, точность, материал.

Ввиду малой скорости резания при резьбонарезании, для изготовления метчика применяются углеродистые, легированные и быстрорежущие стали и в некоторых случаях твёрдые сплавы.

В конструкции любого метчика имеются две части: *рабочая и хвостовик* (рис. 8.1).

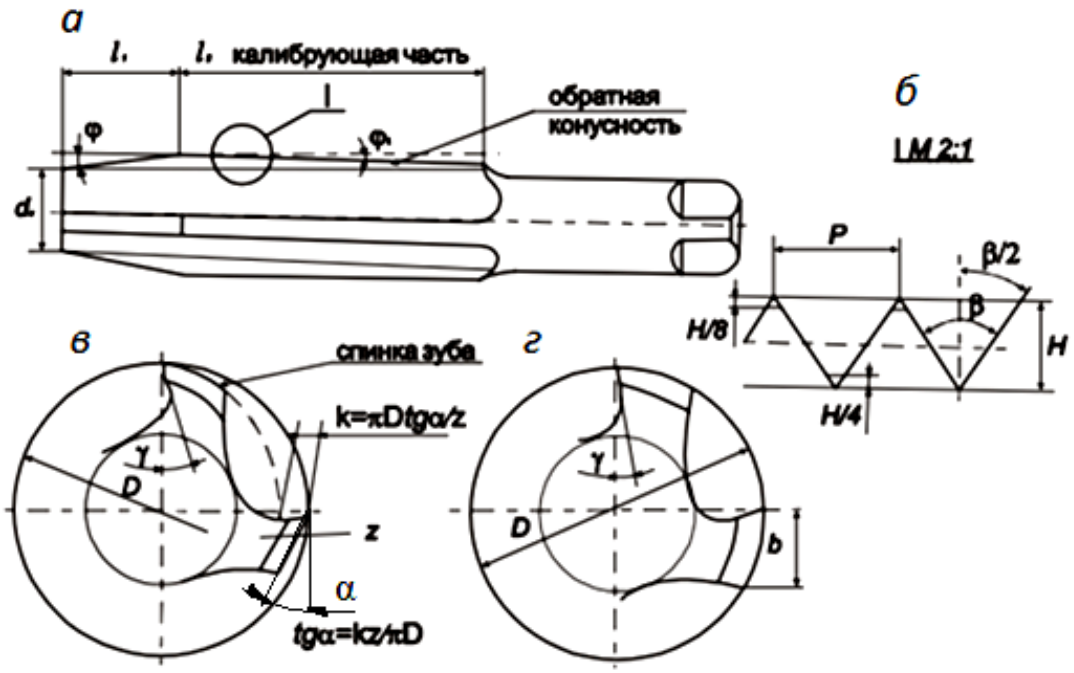


Рис. 8.1. Метчик:
а – общий вид; *б* – профиль резьбы; *в* – профиль спинки зуба на заборной части; *г* – профиль спинки зуба на калибрующей части

Рабочая часть состоит из заборной и калибрующей. Заборная часть, имеющая угол заборного конуса φ, выполняет процесс резания, а калибрующая направляет (затягивает) метчик в отверстие и зачищает резьбу, служит резервом для переточки. Хвостовая часть заканчивается квадратом, с помощью которого метчику передаётся крутящий момент.

Процесс резания метчиком может выполняться по цилиндрической (генераторной) или конической (профильной) схеме, в зависимости от конструктивного оформления заборной части. Цилиндрическая схема резания применяется, как правило, в комплектных ручных и машинных метчиках. Особенность работы состоит в том, что за один оборот метчика каждый зуб срезает своей вершиной плоскую стружку толщиной a = 0,02 … 0,15 мм. Режущая кромка, в этом случае, представляет собой прямую линию. Коническая схема используется при нарезании резьбы в конических отверстиях. В этом случае процесс резания на зубьях заборного конуса происходит не только по вершине, но и по боковым сторонам зуба, что усложняет процесс резания и отвод стружки в стружечную канавку.

Зубьям на заборной части придаются передний – γ и задний – α углы (рис. 8.1, *в*). Величина переднего угла назначается с учётом обрабатываемого материала, задний угол зависит от типа метчика (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Углы режущего клина метчика

Обрабатываемый материал	Передний угол, γ, град.	Тип метчика	Задний угол, α, град.
Чугун. бронза, твердая сталь	0 – 5	Ручной	6 – 8
Латунь. Сталь средней твердости	8 – 10	Гаечный и машинный	10 – 12
Сталь мягкая и вязкая	12 – 15	Метчик для легких сплавов: – глухих отв.	3 – 4
Легкие сплавы	20 – 30	– сквозных	5 - 6

Зубья на калибрующей части метчиков общего назначения не имеют заднего угла и спинка зуба выполняется по цилиндру (рис. 8.1 *г*). Для уменьшения трения на калибрующей части диаметр метчика по направлению к хвостовику уменьшается (обратный конус φ) на величину 0,01 – 0,08 мм и на 100 мм длины (рис. 8.1).

Профиль канавки между зубьями (перьями) определяет характер

размещения стружки, прочность метчика и форму передней поверхности режущего клина.

Изнашивание метчиков происходит в основном по задней поверхности. Признаком износа является ухудшение чистоты нарезаемой резьбы. Перетачиваются метчики по передней поверхности.

Измерение конструктивных и геометрических параметров метчика

Для измерения метчика применяются: штангенциркуль – для определения линейных размеров; угломер – для измерения геометрических параметров зуба; микрометр резьбовой для измерения среднего диаметра; специальный прибор с индикатором – для определения заднего угла и биения зубьев метчика на заборной и калибрующей частях, штангенрейсмас – для измерения высоты центров.

1. Наружный диаметр d измеряется между двумя диаметрально противоположными точками, расположенными на вершинах резьбы метчика в начале калибрующей части.

2. Внутренний диаметр d_1 измеряется между точками впадин резьбы в начале калибрующей части метчика.

3. Средний диаметр d_2 является основной величиной, характеризующей степень точности метчика. Величину среднего диаметра измеряют между двумя диаметрально противоположными точками вершины и впадины резьбы (рис. 8.2), используя соответствующие наконечники для микрометра (призму и конус).

4. Угол в плане φ замеряют угломером.

5. Обратная конусность на калибрующей части метчика φ_1 может быть определена так: надо измерить резьбовым микрометром средний диаметр метчика в двух местах, как показано на рис. 8.3.

Величину обратной конусности на длине 100 мм можно рассчитать по формуле:

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{d' - \mathrm{d}''}{2l},$$

где d' и d'' – средние диаметры метчика в положениях I и II; ℓ -расстояние по оси между диаметрами d' и d''.

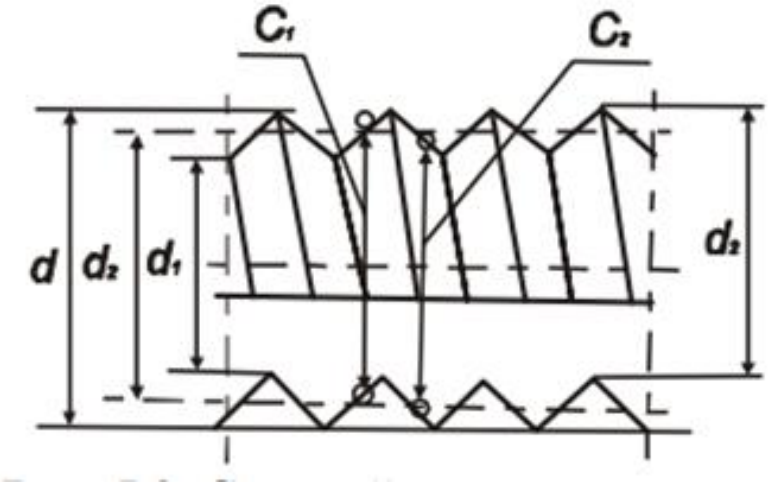


Рис. 8.2. Средний диаметр метчика.

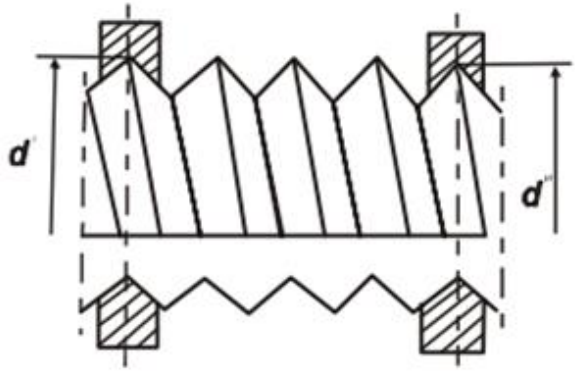


Рис. 8.3. Схема измерения обратной конусности.

6. Для контроля величины заднего угла на режущей и калибрующей частях, метчик устанавливается в центрах специального прибора. Поворачивая метчик вокруг его оси, определяют спад затылка зуба K_1 по ширине пера b , которая измеряется штангенциркулем (рис. 8.4). Величину заднего угла рассчитывают:

$$\mathrm{tg}\alpha = K_1/b \ .$$

7. Толщина стружки, снимаемая одним зубом метчика, работающего по цилиндрической схеме резания, зависит от числа зубьев метчика и величины угла φ: $a = P/z\ \mathrm{tg}\varphi$, где P – шаг резьбы.

8. Передний угол γ рассчитывается по результатам измерения штангенрейсмасом высоты положения передней поверхности метчика M, установленного в центрах относительно высоты центра H (рис. 8.5).

$$\gamma = \arcsin\frac{2h}{d} = \arcsin\frac{2(H-M)}{d}\ .$$

9. Остальные линейные размеры, показанные на рис. 8.1, измеряются штангенциркулем

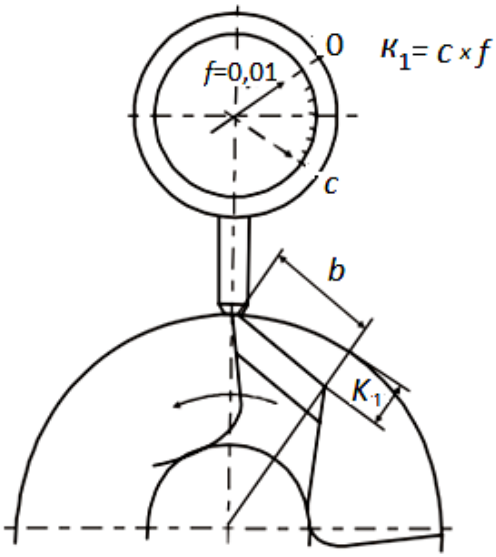


Рис. 8.4. Схема измерения заднего угла

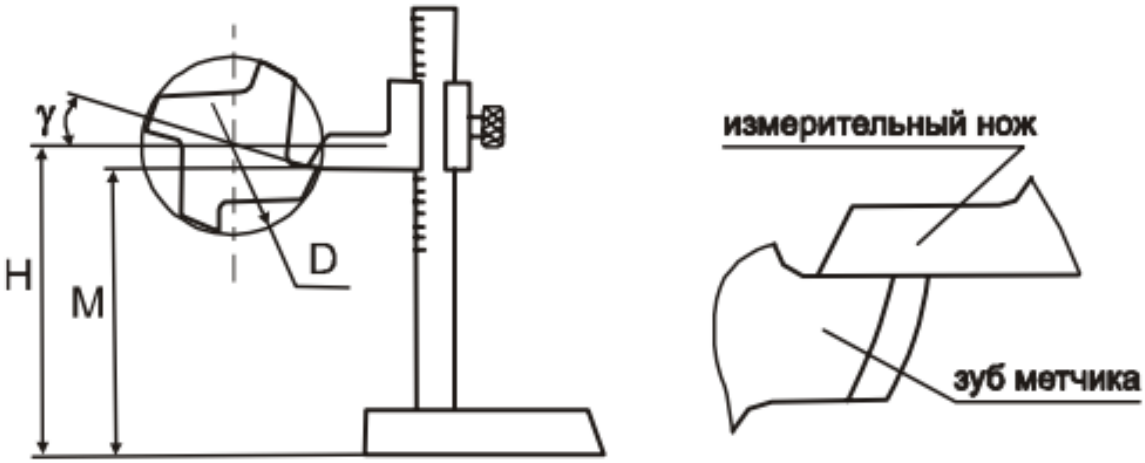


Рис. 8.5. Схема измерения переднего угла.

Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с типовыми конструкциями резьбонарезных инструментов.

2) Изучить приборы для измерения метчиков.

3) Измерить конструктивные и геометрические параметры комплекта метчиков.

4) Обработать экспериментальные данные и внести их в протокол лабораторной работы.

5) Сопоставить полученные результаты со справочными данными и сделать вывод о классе точности метчика; дать рекомендации, для какого материала следует его применять.

Содержание отчёта

Отчет выполняется на бланке. В отчете указывается следующее:

1. Цель работы.

2. Чертёж метчика (проставить числовые значения всех размеров, указанных на рис. 8.1).

3. Таблица расчётных данных.

4. Указать маркировку ручного метчика № 1 и 2.

5. Указать в каком материале рекомендуется нарезать резьбу исследуемым метчиком?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие типы метчиков применяются в машиностроении?

2. Чем конструктивно различаются гаечные, ручные и машинные метчики?

3. Каковы основные части метчика, их назначение?

4. Какую форму имеет режущая кромка метчика?

5. Какие схемы резания возможны в метчике и в чём их различие?

6. Какая схема резания применяется в комплектных метчиках?

7. Все ли зубья метчика имеют задний угол?

8. От каких факторов зависит величина переднего и заднего углов? Как замерить углы γ и α ?

9. Для чего на калибрующей части метчика выполняется обратный конус? Как замерить величину обратной конусности?

10. Из каких материалов изготавливаются метчики?

11. Как изнашиваются и перетачиваются метчики?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗУБОРЕЗНОГО ДОЛБЯКА

Цель работы: а) исследование конструкции зуборезного долбяка; б) усвоение методики измерения конструктивных элементов и геометрических параметров; в) изучение маркировки зуборезных инструментов.

Краткие сведения о зуборезных долбяках

Нарезание зубьев на цилиндрических заготовках выполняется на зубодолбежных станках мод. 514, 5В12 и др. В качестве режущего используется специальный инструмент – зуборезный долбяк. Его конструкция определяется особенностью процесса нарезания: на станке воспроизводится зацепление двух цилиндрических колёс, из которых одно является изделием, а второе – режущим инструментом (рис. 9.1). По внешнему виду зуборезный долбяк похож на цилиндрическое зубчатое колесо (рис. 9.2). Каждый зуб имеет три режущих кромки: одну на вершине зуба (1) и две боковые (2). Для образования режущего клина на его зубьях выполняются передние γ и задние α углы.

Задний угол на вершине режущей кромке придает долбяку вид конического колеса, у которого высота головки зуба (разность между наружным диаметром и делительным цилиндром) измеряется от h_1 до h_i. После каждой переточки высота головки зуба будет уменьшаться.

Если у нового долбяка высота головки зуба h_1, то после первой переточки – h_2, после второй – h_3 и т. д. (см. рис. 9.2). Такое отклонение высоты головки зуба от некоторой расчётной величины называется высотной коррекцией. Можно сделать вывод: задний угол на вершинной режущей кромке создает высотную коррекцию зубьев долбяка.

На боковых режущих кромках также выполняются задние углы α δ, чтобы исключить трение боковой поверхности зуба долбяка о боковую поверхность зуба изделия (рис. 9.3). Наличие боковых углов приводит при переточках к уменьшению толщины зуба долбяка от S до S_i. Иными словами, задний боковой угол создает коррекцию по толщине зуба.

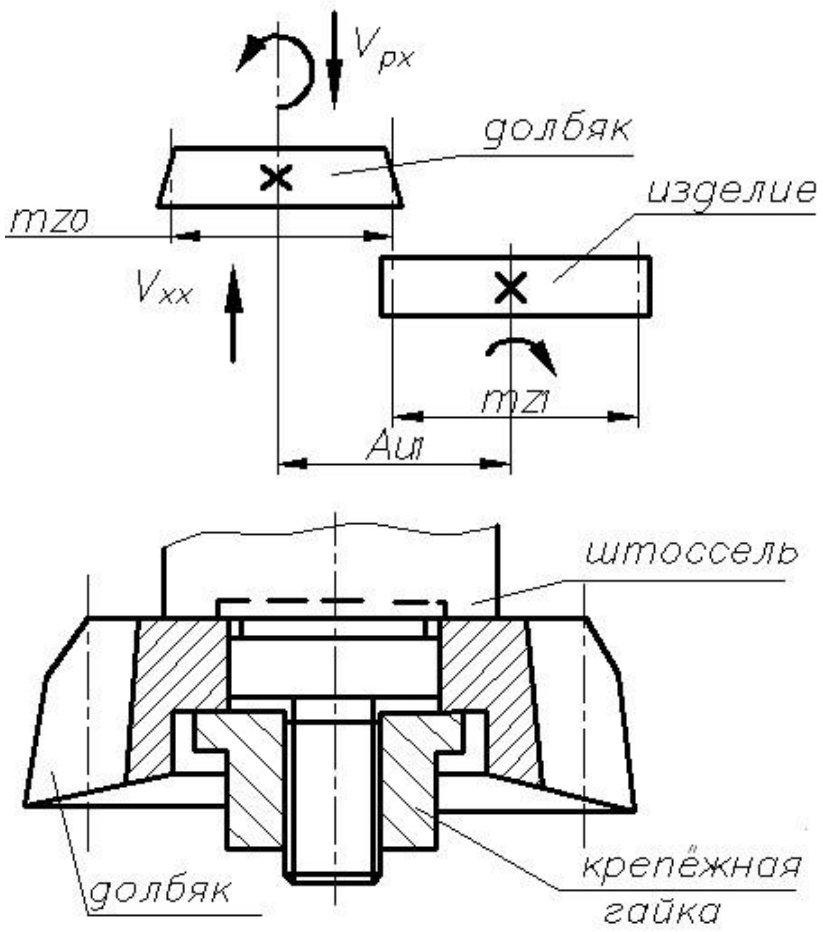


Рис . 9.1. Схема работы и крепления зуборезного долбяка

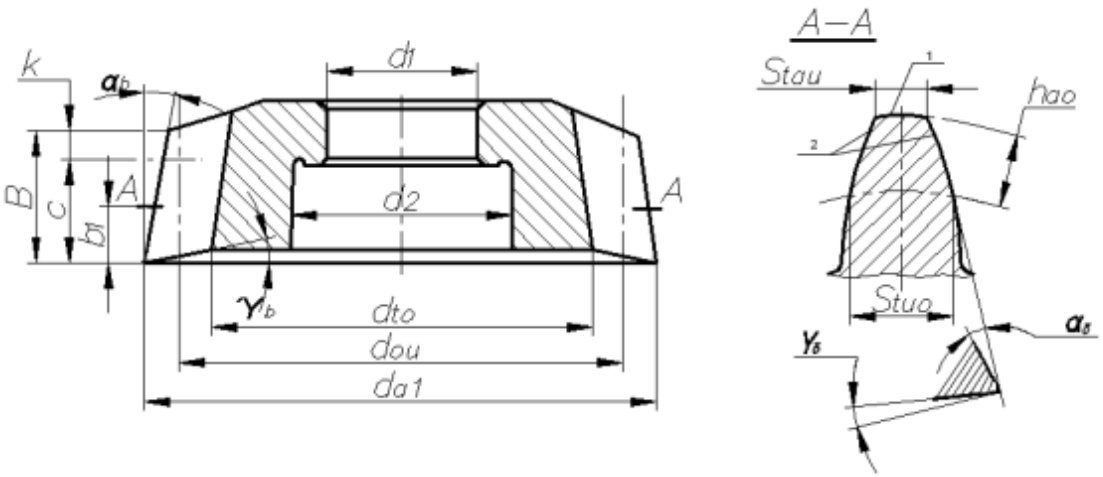


Рис. 9.2. Зуборезный долбяк

Передний и задний углы создают отклонение профиля зуба долбяка от теоретического и приводят к изменению профильного угла. Расчётный профильный угол зуба долбяка должен быть равен 20°, а

углы γ_b и α_b вносят коррекцию, и действительный угол будет равен:

$$\mathrm{tg}\alpha_u = \mathrm{tg}\alpha/(1 - \mathrm{tg}\gamma_b\,\mathrm{tg}\alpha_b)\,.$$

Таким образом, наличие углов γ_b и α_b приводит к коррекции зуба долбяка по высоте головки, по толщине зуба и профильному углу. Поэтому зуборезный прямозубый долбяк представляет собой корригированное зубчатое колесо.

Для расчёта долбяка одно из торцевых сечений А-А (перпендикулярное к оси) принимают за исходное. В нём параметры зуба долбяка S_{tau}, S_{tuo} h_{ao} , α_b равны параметрам зуба инструментальной рейки. Это сечение называется исходным, или расчётным. Оно расположено на расстоянии $b_1 = y_1/\mathrm{tg}\alpha_b$ от вершины зуба нового долбяка. Величина b_1 называется исходным расстоянием. Принято считать, что в сечениях, расположенных слева от исходного, зубья имеют положительную коррекцию (высота головки зуба больше стандартного значения: h_a =1,25m, (h_{ou} 1, >h_{ao}), а справа – отрицательную (h_{ou} 2, > h_{ao}).

По мере затупления долбяк перетачивают только по передней поверхности, снимая каждый раз слой металла толщиной Δ до 0,5 мм. Наибольшая величина стачивания определяется прочностью оставшегося тела зуба K и высотой головки зуба долбяка: $C = B - K$ (рис. 9.2). Величина K приводится в табл. 9.1.

Долбяки изготавливают из высококачественной быстрорежущей стали , карбидная неоднородность которой не выше 3–4 баллов. Учитывая специфику настройки зубодолбежного станка, в маркировке долбяка указывают: модуль, число зубьев, номинальный диаметр делительного цилиндра, профильный угол зубчатого зацепления, материал, класс точности, завод-изготовитель, номер долбяка.

Таблица 9.1

Зависимость величины *K* от модуля

Номинальный модуль m, мм	Номинальный диаметр делительного цилиндра d_{ou}, мм	Ширина полностью изношенного долбяка *K*, мм
1,75 – 2,5	75	5
2,75 – 4,5	75	6,5
1,75–2,5	100	100
2,75 – 4,0	4,5	5,5

Измерение конструктивных и геометрических параметров зуборезного долбяка

Для измерения долбяка в лабораторной работе применяются штангенциркуль и универсальный угломер.

Для исследования конструкции долбяка необходимо выполнить эскиз долбяка, замерить или рассчитать и проставить на эскизе размеры, показанные на рис. 9.2, 9.3. При выполнении расчёта принять:

1) высоту головки зуба $h_{au} = m\,f$, где $f = 1{,}25$, если $m < 2{,}5$ мм, и $f = 1{,}3$, если $m > 2{,}5$ мм;

2) толщину зуба по делительному цилиндру $S_{tuo} = 0{,}5\pi\, m$;

3) наружный диаметр d_{a1} – замером; $d = d + 2\,h_{au}$, $d_{ou} = mz_o$;

4) исходное расстояние $b_1 = y_1/tg\alpha_b$; $y_1 = 0{,}5\,(d_{a1} - d_a)$;

5) предельный размер стачивания $C = B + K$.

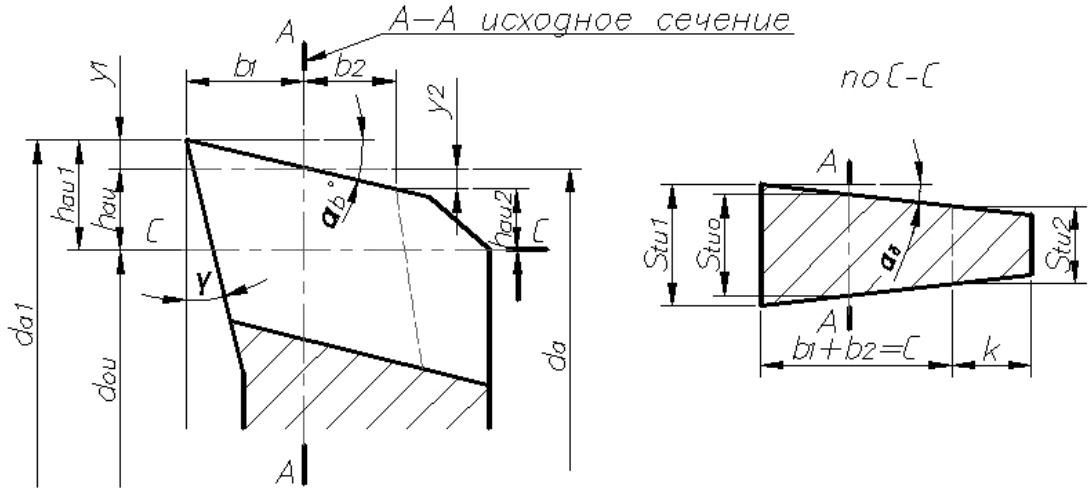


Рис 9.3. Основные конструктивные размера зуба

6) отрицательное смещение исходного сечения $b_2 = C - b_1$;

7) параметры зуба долбяка по передней поверхности (нового):

а) высоту головки $h_{au} = h_{au} + y_1$;

б) толщину зуба $S_{tu1} = S_{tu0} + 2b_1 tg\alpha_\delta$; α_δ – замером.

Порядок выполнения работы

1) Изучить приборы для измерения.

2) Измерить габаритные размеры долбяка.

3) Измерить геометрические параметры зуба долбяка.

4) Обработать экспериментальные данные и занести в отчёт о

лабораторной работе.

5) Изучить маркировку зуборезных инструментов.

Содержание отчёта

1. Эскиз долбяка и профиля зуба со всеми размерами (см. рис. 9.2, рис. 9.3).

2. Таблица расчётных данных (табл. 9).

3. Заключение о качестве зубьев, нарезанных новым и предельно сточенным долбяком, сопоставление возможных величин бокового и радиального зазора в зубчатой передаче, нарезанной исследуемым долбяком.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким методом нарезают зубья на зубодолбёжном станке?
2. Сколько режущих кромок имеет каждый зуб долбяка?
3. Назовите углы резания долбяка, покажите рабочие поверхности.
4. Какой параметр зуба долбяка изменяется под влиянием заднего угла на вершинной режущей кромке?
5. Какой параметр зуба долбяка изменяется под влиянием заднего угла на боковой режущей кромке?
6. Почему профильный угол долбяка не соответствует стандартным значениям 20°?
7. Какое сечение долбяка называется исходным?
8. Что показывает величина исходного расстояния?
9. Как изменяется высота головки зуба в зоне слева и справа от исходного сечения?
10. По какой поверхности перетачиваются зубья долбяка?
11. Из каких материалов изготавливаются долбяки?
12. Какие параметры входят в маркировку долбяка?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10
ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Цель работы:

а) изучение конструкции протяжек для внутреннего протягивания;

б) изучение схем резания протяжек;

в) освоение методики измерения геометрических параметров зубьев протяжки.

Краткие сведения о протяжках

В массовом и крупносерийном производствах для обработки внутренних и наружных поверхностей применяются протяжки. Резание протяжками идёт на низких скоростях – 10–24 м/мин. В работе участвует от 3 до 20 зубьев одновременно, поэтому производительность процесса протягивания в 2–5раз превышает производительность таких видов обработки, как развёртывание, зенкерование, фрезерование, строгание.

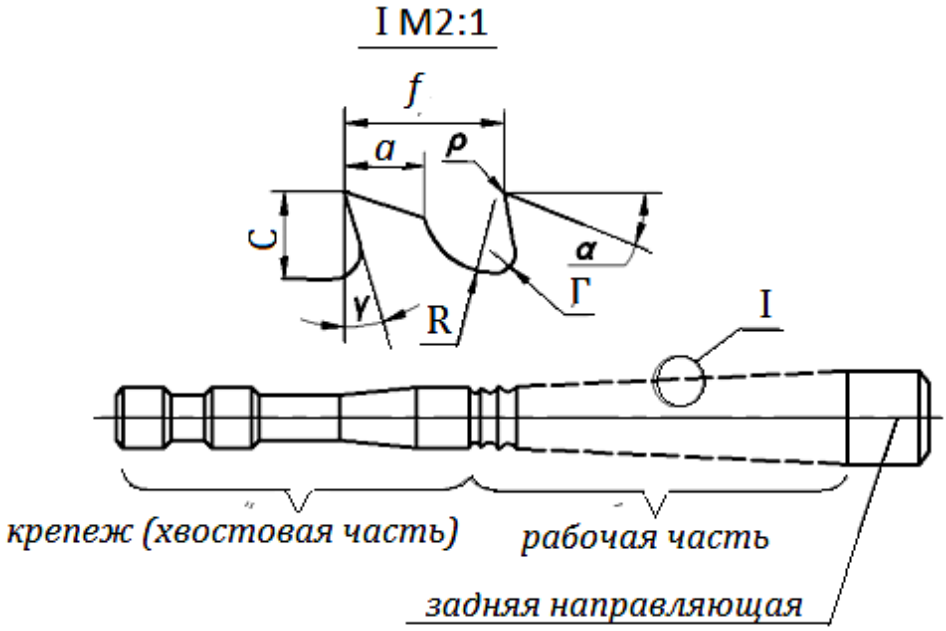


Рис. 10.1. Круглая протяжка

Протяжка состоит из крепёжной и рабочей частей (рис. 10.1). Форма крепёжной части определяется способом соединения протяжки с рабочим механизмом станка и регламентируется ГОСТ 16158-701.

На рабочей части расположены режущие зубья. Высота каждого

зуба различна и возрастает по направлению к задней направляющей.

Разность высот двух смежных зубьев определяет подачу:

$$S_z = D_i - D_{i-1}.$$

Таким образом, протяжка сама обеспечивает подачу, и протяжные станки не имеют механизма подач.

Режущие зубья по назначению делятся на черновые, чистовые и калибрующие, которые имеют различную высоту в зависимости от вида подачи. Черновые зубья работают с наибольшей подачей, а калибрующие, которые производят только зачистку поверхности, не имеют подачи. Все калибрующие зубья выполняются одинаковыми по высоте.

Между зубьями протяжки расположены стружечные канавки, в которых размещается снятая зубом стружка.

При обработке широких поверхностей ($B > 10$ мм) и отверстий на задней поверхности режущего клина делаются стружкоразделительные канавки. Они делят широкую стружку на узкие полоски для лучшего её завивания и размещения между зубьями протяжки. Калибрующие зубья таких канавок не имеют, так как резание не производят. Форма зубьев протяжки показана на рис. 10.1.

Различают *три основных схемы резания*: *профильную* (одинарную), *генераторную* (ступенчатую) и *прогрессивную* (групповую).

Профильная схема резания (рис. 10.2) характеризуется следующими особенностями:

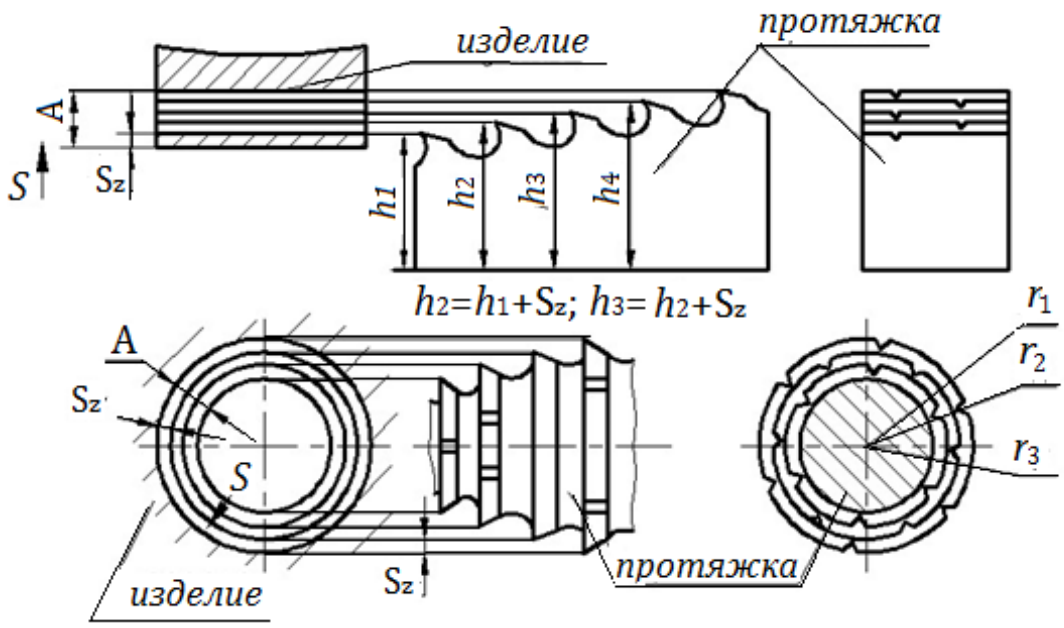


Рис. 10.2. Протяжки профильной схемы резания

1) направление подачи перпендикулярно обрабатываемой поверхно-

сти.
2) на задней поверхности этих зубьев выполняются мелкие стружкоразделительнные канавки (b = 0,6-1-1,2 мм, h = 0,4-0,8 мм), которые располагаются в шахматном порядке. Там, где на зубьях имеется канавка, металл не снимается (нет режущей кромки), а следующий зуб должен снять двойной слой металла: тот, что не снял предыдущий зуб, и тот, что должен снять. Это приводит к местным перегрузкам и неравномерной нагрузке на зуб. Кроме того, мелкие канавки на боковых сторонах не имеют задних углов. В результате при резании по этим поверхностям возникает значительное трение, возрастает усилие протягивания.
3) каждый зуб протяжки по высоте делается большим предыдущего на величину подачи. Размеры последнего зуба определяют размеры обрабатываемой поверхности. Эта схема резания характеризуется не равномерностью нагрузки на зуб.

Генераторная схема резания (рис. 10.3) назначается при обработке боковых сторон *1*, *2* шпоночного паза в отверстии.

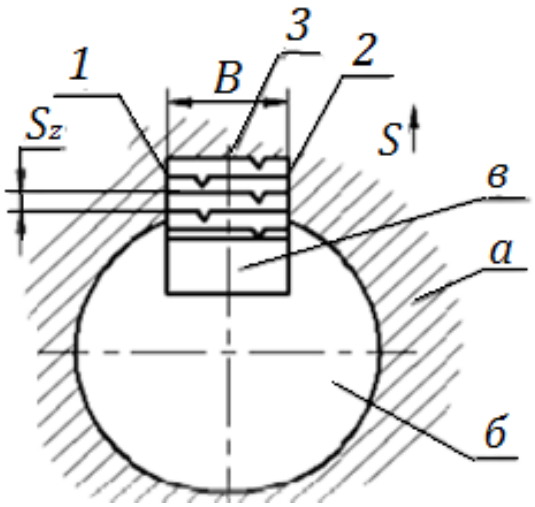


Рис. 10.3. Протяжка генераторной схемы резания:
а – изделие; *б* – направляющая втулка; *в* – протяжка

Основные признаки этой схемы резания:
1) Направление подачи параллельно обрабатываемой поверхности.
2) Все зубья протяжки выполняются одинаковой ширины по отношению к обрабатываемым поверхностям *1*, *2*. Каждый зуб оставляет на поверхности риску-след своего движения. В образовании профиля боковых сторон шпоночного паза участвуют все зубья протяжки, поэтому шероховатость, поверхности будет большой.
3) Если B > 10 мм, то на зубьях выполняются мелкие стружкоразде-

лительные канавки, как и при профильной схеме резания.

Групповая схема резания (рис. 10.4) имеет следующие отличия:

1) Все зубья протяжки делятся на группы по 2 - 4 зуба. Высота (диаметр) зубьев, входящих в группу, одинакова. Подача осуществляется путём увеличения высоты зубьев каждой последующей группы.

2) Направление подачи: между зубьями в группе – параллельное обрабатываемой поверхности (генераторная схема), а между группами-перпендикулярное обрабатываемой поверхности (профильная схема).

3) На зубьях выполняются широкие и глубокие стружкоразделительные канавки в форме лунок (выкружек) или трапеций. Там, где расположена такая канавка в зубе, металл не снимается. Этот оставшийся на поверхности металл удаляется следующим зубом группы, имеющим такую же высоту, что и предыдущий.

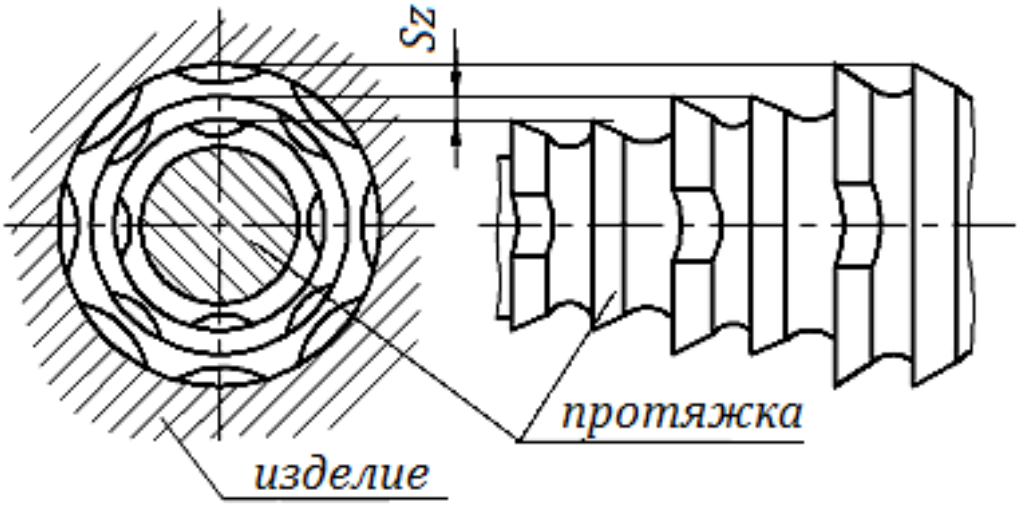


Рис. 10.4. Протяжная групповая схема резания

При групповых схемах резания условия работы протяжек улучшаются, зубья нагружены равномерно, широкие стружкоразделительные канавки имеют задние углы на боковых сторонах. Все это позволяет работать с большими подачами. Генераторную и групповую схемы резания рекомендуется применять только для черновых зубьев.

Протяжки для внутреннего протягивания перетачиваются по передней поверхности, чтобы значительно не уменьшался диаметр (высота зуба). Протяжки для наружного протягивания перетачиваются по задней поверхности. Уменьшение высоты зуба компенсируется прокладками, клиньями, которые располагаются под основанием

протяжки.

Измерение конструктивных и геометрических параметров протяжки

Для измерения в лабораторной работе применяются: штангенциркуль, микрометр, угломер 2УРИ (конструкции М. И. Бабчинцера).

Штангенциркулем определяют габаритные размеры протяжки: длину, размеры зажимной части.

Микрометром измеряют высоту каждого зуба протяжки.

Протяжки зажимают в универсальной стойке и замеряют высоту от опорной поверхности до вершины зуба или диаметры зубьев.

Угломером 2УРИ измеряют геометрические параметры рабочих зубьев протяжки. Положение угломера при замере показано на рис. 10.5.

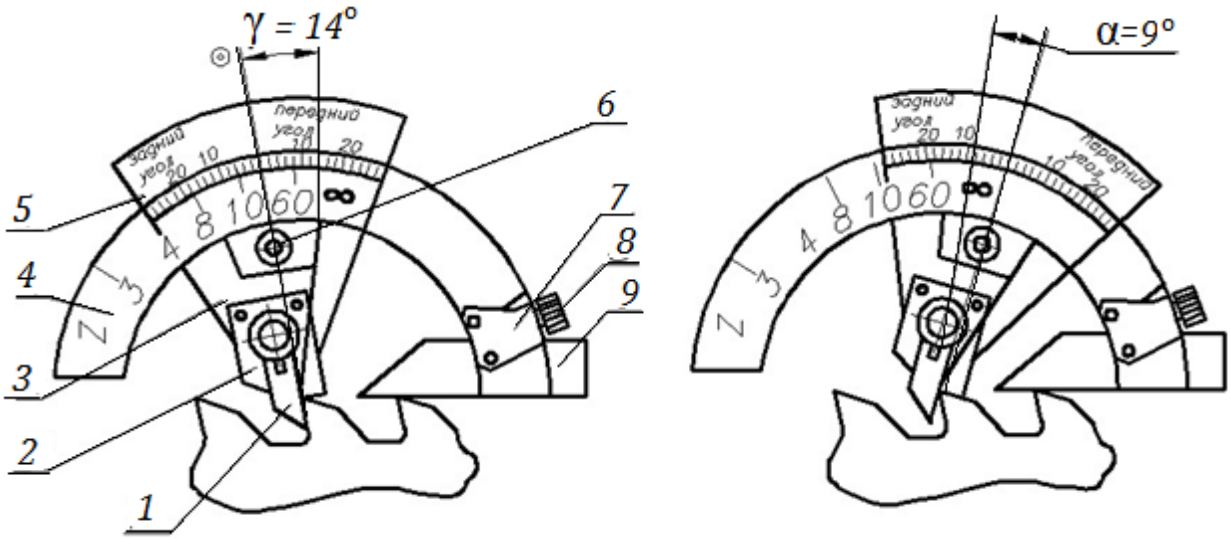


Рис. 10.5. Контроль углов протяжки угломером типа 2 УРИ

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию протяжки.
2. Замерить габаритные параметры протяжки и зуба.
3. Установить схему резания протяжек.

Содержание отчёта

1. Эскиз протяжки с габаритными размерами.
2. Результаты измерений диаметров (высоты) всех зубьев протяжки, подача на каждый зуб, оформляют в виде таблицы 10.1.

3. Чертеж зуба в двух проекциях с линейными и угловыми размерами.

4. Схема резания исследуемой протяжки с перечислением её основных признаков:

- тип схемы резания;
- признаки.

Таблица 10.1

Геометрические параметры протяжки

Номер зуба	1	2	3															
Диаметр (высота), мм																		
Подача, мм/зуб																		
Тип зуба: черновые			чистовые									калибрующие						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему при низких скоростях резания протягивание обеспечивает высокую производительность труда?
2. Почему в протяжном станке нет механизма подач?
3. Чем различаются черновые, чистовые и калибрующие зубья?
4. Каково назначение стружкоразделительных канавок?
5. Перечислите три основных признака протяжек профильной схемы резания.
6. Почему при профильной схеме резания нельзя назначить большую подачу на зуб? В чём недостаток этой схемы резания?
7. Перечислите три основных признака протяжек, работающих по генераторной схеме резания.
8. В чём недостаток протяжек с генераторной схемой резания?
9. Перечислите три основных признака групповой схемы резания?
10. На каких зубьях рекомендуется назначать генераторную и групповую схемы резания?
11. Какими параметрами характеризуется зуб протяжки?
12. Как перетачивают протяжки для внутреннего и наружного протягивания после затупления?
13. Почему протяжки можно изготавливать из всех видов инструментальных материалов?

Оглавление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № ИЗУЧЕНИЕ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА 4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ 10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. .НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА для ТОЧЕНИя НАРУЖНЫХ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ 30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦОМ 34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА 43
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ 51
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКТА МЕТЧИКОВ 55
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗУБОРЕЗНОГО ДОЛБЯКА 62
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10. ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ 67
ЛИТЕРАТУРА 74

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фещенко В. Н. Токарная обработка. М., Высшая школа, 2009
2. Денежный П. М. и др. Токарное дело. М., Высшая школа, 2010
3. Фельдштейн Е. Э., Корниевич М. А. Металлорежущие инструменты. М., Новое знание, 2009
4. Фельдштейн Е. Э., Корниевич М. А.. Режущий инструмент. М., Новое знание, 2007
5. Суворов А. А., Зайдлин Г. С., Стискин Г. М. Металлорежущие инструменты. М, Машиностроение, 1979
6. Дальский А. И. и др. Технология металлорежущих материалов. М., Машиностроение, 2008 , 664 с.
7. Петруха П. Г. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. М., Машиностроение, 2007 , 614 с.
8. Обработка металлов резание. А. П. Панов и др. Справочник технолога. М., Машиностроение, 2009 , 736 с.

Учебное издание

Татьяна Петровна Глинникова
Сергей Александрович Волегов

Технология конструкционных материалов

Лабораторный практикум по теме
"*ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ* "
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 - «Машиностроение»,
15.03.02 - «Технологические машины и оборудование» (ТМО)
и среднего профессионального образования
15.02.01 - «Монтаж техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного
и заочного обучения

Редактор В. В. Баклаева

Подписано в печать. Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 4,6. Уч.-изд. л. 2. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.В.04 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Специальность
15.03.01 Машиностроение

Профиль специализации
Производство и реновация машин и оборудования

Форма обучения: очная, заочная

Автор: Шангина Е.И.

Одобрен на заседании кафедры

Инженерной графики
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Шангина Е.И.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 5 от17.04. 2019
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета

Горно-механический
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 7 от 19.04. 2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 6
Подготовка к зачёту 6

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов - это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время.

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с

целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;

для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:

- подготовка к зачёту;

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как online, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, тестирование, опрос, контрольные работы, защита контрольных работ, защита зачётных работ и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: *для овладения знаниями:*

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей;

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;
- составление библиографических списков по изучаемым темам;

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе: *для овладения знаниями:*

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами.

для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки.

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы.

Тест - это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по

вопросу выбора дополнительной учебной литературы;

- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте,
- продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов, выбрать правильные (их может быть несколько), на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам.

В процессе выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».



Хазин М. Л., Волегов С. А.

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Екатеринбург – 2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Уральский государственный горный университет»

Хазин М. Л., Волегов С. А.

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие по курсовой работе

Екатеринбург – 2019

УДК 622:681.5:12-192

Рецензенты: А. В. Бухмастов, канд. техн. наук,

Хазин М. Л., Волегов С. А.

Теория и технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин. Учебное пособие по курсовой работе/ М. Л. Хазин, С. А. Волегов. Екатеринбург: Изд-во, УГГУ, 2014. – 80 с.

В учебном пособии приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Теория и технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин», изложена методика разработки технологического процесса восстановления деталей оборудования, анализа дефектов и технического состояния деталей, составления технологических карт, приведен порядок выбора способа восстановления при ремонте деталей оборудования.

Для студентов, направления бакалавриата техник-механик направления 150700 «Машиностроение», подготовка которых требует знаний по ремонту промышленного оборудования.

Объём 5 печ. л. Рис. 1. Табл. 27. Библ. 14 наим.

© Уральский государственный
горный университет, 2015
© Хазин М. Л., Волегов С. А., 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 8
1.1. Цель и задачи курсовой работы 8
1.2. Объем и содержание курсовой работы 9
1.3. Расчётно-пояснительная записка 9
1.4. Графическая часть 9
1.5. Оформление курсовой работы 10
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 12
2.1. Порядок выполнения работы 12
2.2. Анализ технического состояния детали 13
2.3. Анализ дефектов и оценка пригодности детали 14
2.4. Выбор способа восстановления деталей 23
2.5. Разработка маршрута восстановления детали 29
2.6. Расчет припусков при восстановлении детали 31
3.ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ 32
3.1. Требования к материалам 32
3.2. Металлическая проволока и лента 32
3.3. Штучные электроды и прутки 33
3.4. Порошки 34
3.5. Порошковая проволока и ленты 34
3.6. Синтетические материалы 35
3.7. Выбор и определение нормы расхода материала 36
4.ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ 37
5.РАСЧЁТ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ 40
5.1. Наплавка 40
5.2.Наварка ленты и проволоки 43
5.3.Нанесение электролитических покрытий 44
5.4.Механическая обработка 46
6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ 52
6.1. Особенности механической обработки восстановленных деталей .. 52
6.2. Базирование деталей 52
6.3. Обработка наплавленных поверхностей 54
6.4. Обработка деталей с газотермическими покрытиями 55
6.6. Обработка деталей с электрохимическими покрытиями 56
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ВРЕМЕНИ 57
7.1. Наплавка 57
7.2. Электрохимические покрытия 59
7.3. Механическая обработка 60
8. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ 60
8.1. Оформление технологической документации 60
Приложение 1. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 62

Приложение 2. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРВОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 63
Приложение 3. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ПОСЛЕДУЮЩИЙ ЛИСТОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ 64
Приложение 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ..... 65
Приложение 5. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ..... 73
Приложение 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 75
Приложение 7. РЕЖИМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ 77
Приложение 8. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНОЙ КАРТЫ РЕМОНТА..... 78

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель и задачи курсовой работы

Цель курсовой работы – научить студентов проектировать эффективные и экономичные технологические процессы восстановления деталей машин на основе современных достижений отечественного и зарубежного машиностроения и ремонтного производства.

В процессе работы решаются следующие *задачи*:

– расширение, систематизация и закрепление теоретических знаний и их применение для проектирования технологических процессов ремонта;

– развитие способностей студентов к анализу технико-экономических решений и умения логично и четко формулировать свои мысли и предложения.

– подготовка студента к квалификационной работе и практической работе.

В процессе работы студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

– уметь проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования (ПК-4);

– уметь составлять заявки на оборудование и запасные части, подготавливать техническую документацию на ремонт оборудования (ПК-16);

– способность устанавливать причины выхода из строя машин и оборудования, определять виды изнашивания деталей машин и выбирать оптимальный технологический процесс их восстановления (ПСК-5.1);

– способность рассчитывать параметры режимов технологического процесса восстановления рабочего слоя изношенной поверхности и составлять маршрутные карты для реализации этого процесса (ПСК-5.2);

– уметь выбирать оборудование и проектировать необходимую для реализации технологического процесса повышения износостойкости и восстановления деталей машин оснастку, осуществлять наладку оборудования и его техническое обслуживание (ПСК-5.3);

– уметь выбирать материалы с необходимым комплексом физико-механических и трибологических характеристик для восстановления изношенной поверхности детали (ПСК-5.4);

– уметь разрабатывать технологический процесс механической обработки упрочненных и восстановленных поверхностей деталей машин, рассчитывать параметры режимов обработки, выбирать оборудование и оснастку для обеспечения необходимых макро- и микрогеометрических характеристик поверхностей деталей (ПСК-5.5);

– способность разрабатывать ремонтную документацию на повышение износостойкости и восстановление деталей машин и оборудования (ПСК-9).

Курсовая работа является завершающим этапом изучения дисциплины «Теория и технологические методы восстановления и повышения износостой-

кости деталей машин» и служит для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении ранее читаемых дисциплин.

1.2. Объем и содержание курсовой работы

Курсовая работа выполняется согласно заданию, выданному преподавателем, и состоит из расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части (чертежей, графиков).

В курсовой работе студент разрабатывает технологический процесс ремонта детали.

Объём курсового проекта определяют документы, поясняющие и раскрывающие его содержание:

- Задание на проектирование (приложение 1).
- Расчётно-пояснительная записка, представляющая собой все необходимые технические и технико-экономические расчёты, дающие обоснование принятым в проекте решениям.
- Технологическая документация (маршрутная, операционные и эскизные карты).
- Иллюстрации технологического процесса восстановления детали.

1.3. Расчётно-пояснительная записка

Расчетно-пояснительная записка является основным документом курсовой работы, в которой приводится исчерпывающая информация о выполненных расчетных и технологических разработках.

Расчётно-пояснительная записка должна быть написана в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание и рабочий чертеж детали;
- оглавление;
- введение;
- расчетно-технологическая часть;
- заключение;
- список литературы;
- приложение (технологические карты).

Основные положения расчетно-пояснительной записки иллюстрируются таблицами, схемами, рисунками, графиками. Они должны иметь сквозную нумерацию и соответствующие подрисуночные надписи.

1.4. Графическая часть

Графическая часть курсовой работы представляет собой рабочий чертеж детали, ремонтный чертеж детали и иллюстрация технологического процесса

восстановления поверхности детали (формат А1). Обрабатываемые поверхности обозначаются сплошной основной линией толщиной от 2*s* до 3*s* или цветом.

Ремонтный чертеж детали выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.604-2000 ЕСКД. Чертежи ремонтные.

На ремонтных чертежах изображают только те виды, разрезы и сечения, которые необходимы для проведения ремонта детали или сборочной единицы. Указывают только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены в процессе ремонта и сборки изделия.

1.5. Оформление курсовой работы

Пояснительная записка пишется от руки черными, синими или фиолетовыми чернилами или печатается на принтерных устройствах ЭВМ на листах формата А4 ГОСТ 2.105-95 шрифтом Times New Roman кеглем 14.

Первым листом пояснительной записки, после титульного, является лист, определяющий ее содержание, с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104-68. Все последующие листы выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТ. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение). Код документа включает в себя наименование работы, обозначение учебной группы, номер группы, номер задания и наименование документа. Например, КР МШС 012 025 ПЗ, где КР – курсовая работа; МШС – обозначение учебной группы; 12 – номер группы; 25 – номер задания; ПЗ – пояснительная записка.

Слово «Оглавление» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм.

Расчетно-пояснительная записка должна иметь ясную и четкую рубрикацию разделов. Текст записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует писать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовками раздела, подраздела и текстом должно быть 1,5 – 2 интервала.

Формулы пишутся на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные результаты не записываются. Расчётные формулы должны иметь чёткую связь с расчётными схемами и сквозную нумерацию

(в круглых скобках с правой стороны листа). Буквенные обозначения формул должны иметь расшифровку, а цифровые константы – соответствующую ссылку на литературу (в квадратных скобках в тексте).

Пример 1

Минутная подача S_m, мм/мин, рассчитывается по формуле

$$S_м = S_o \cdot n,$$

где S_o – подача на оборот детали, мм/об; n – частота вращения детали, мин$^{-1}$.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номеров раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Номер рисунка и наименование записывают следующим образом: «Рис. 2.1. Эскиз заготовки», – и помещают после пояснительных данных.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы в соответствии с рис. 1.1.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

Таблица 1.1

Химический состав качественных углеродистых конструкционных сталей в процентах

Марка стали	Элементы, %				
	C	Si	Mn	P	S
20	0,20	0,17-0,37	0,35-0,65	< 0,04	< 0,04
25	0,25			< 0,04	< 0,04
30	0,30			< 0,04	< 0,04
35	0,35			< 0,04	< 0,04

Рис. 1.1. Пример оформления таблицы

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз – справа над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием ее номера.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.

На все использованные источники в тексте расчетно-пояснительной записки должны быть ссылки. В список литературы включают все использованные источники, которые следует располагать в порядке появления ссылок в тексте расчетно-пояснительной записки. Номер ссылки указывается в тексте в квадратных скобках (например, припуск берется по справочнику [4]).

Оформление ссылок проводится в соответствие с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Оформление технологической документации на восстановление детали – маршрутной и операционных карт, карт эскизов – проводится согласно ГОСТ 3.1103-82, ГОСТ 3.1104-81, ГОСТ 3.1105-84, ГОСТ 2.109-73.

Каждая операционная карта сопровождается картой эскизов (по ГОСТ 3.1104-81, 3.1105-84 на форматах А4 по ГОСТ 2.301-68 прил. 1), на которой указывается базирование и крепление детали, способ нанесения материала при восстановлении, режущий инструмент, форма, шероховатость и размеры (с допусками) поверхностей после обработки на данной операции.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1. Порядок выполнения работы

При разработке технологического процесса восстановления детали осуществляется:

- изучение реальных сочетаний дефектов на деталях;
- обоснование и выбор способа восстановления;
- разработка маршрутного и операционного технологических процессов;
- выбор рациональной последовательности выполнения операций;
- выбор оборудования, приспособлений, материалов, инструмента;
- определение оптимальных режимов восстановления и обработки;
- нормирование затрат труда и материалов при соблюдении всех технических требований и обеспечения требуемого уровня качества, минимальных материальных и трудовых затрат.

При этом обеспечивается строгое соблюдение всех технических требований, заданный уровень качества продукции при минимальных материальных трудовых затратах.

При разработке технологического процесса восстановления детали *рекомендуется следующий порядок работы*:

- анализ технического состояния детали;
- анализ дефектов и оценка пригодности детали;
- выбор рациональных способов устранения дефектов и обеспечения необходимого ресурса детали (сравниваются не менее трех вариантов технологического процесса восстановления детали по соответствующим критериям);
- разработка технологического маршрута восстановления детали:
- расчет припусков;
- выбор оборудования, приспособлений, инструмента;
- расчет режимов обработки в соответствии с требованиями точности и шероховатости (для заданной поверхности);
- нормирование операций;
- назначение контрольных операций по технологическому процессу;
- оформление технологической документации на процесс восстановления детали.

Исходной базовой информацией служат:

- программа выпуска ремонтируемой сборочной единицы или узла;
- сборочный чертеж ремонтируемого узла;
- рабочий чертеж детали;
- информация о технологических процессах восстановления деталей;
- перечень дефектов;
- указания о применимости различных способов устранения дефектов;
- условия эксплуатации и режимов работы детали (узла).

2.2. Анализ технического состояния детали

Анализ технического состояния изношенной детали начинают с установления причин потери работоспособности при эксплуатации машины. Для этого изучается конструкция сборочной единицы, в которую входят детали, а также условия ее работы. После этого дается характеристика детали.

Характеристика детали включает:

- наименование детали;
- назначение детали, ее конструктивные особенности и местонахождение в узле;
- наименование и марку материала детали;
- вид термической обработки заданных для восстановления поверхностей, глубину обработки и твердость материала детали;
- технологические и механические свойства материала детали: возможность обработки резанием, давлением, сваркой, термической обработкой и пр.;
- габаритные размеры детали: длину, диаметр (ширину и высоту); массу детали;

- указываются основные и вспомогательные конструкторские базы, исполнительные поверхности;
- анализ допусков на размеры, формы и взаимного расположения поверхностей детали.

Пример 2

Деталь – вал ступенчатый, предназначенный для передачи крутящего момента от ступицы зубчатого колеса на внешнюю нагрузку, выполненный из материала сталь 45 ГОСТ 1051-98. Термообработка – нормализация, глубина обработки – 3 мм, твердость - 600 НВ.

Материал детали (сталь 45) может обрабатываться резанием, давлением, сваркой, термической обработкой и пр. Свойства материала детали, с учетом термообработки [4], приведены в табл. 2.1

Таблица 2. 1

Механические свойства стали 45 после нормализации

Временное сопротивление растяжению, $\sigma_в$, МПа	610
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	360
Предел выносливости при растяжении, $\sigma_{-1р}$, МПа	220
Предел выносливости при изгибе, $\sigma_{-1и}$, МПа	275
Относительное удлинение, δ, %	16
Относительное сужение, ψ, %	40
Ударная вязкость, *KCU*, кДж/м^2	450

Габаритные размеры детали: длина – 800 мм, диаметр – 40 мм. Масса детали – 7,83 кг.

Деталь работает в условиях динамической нагрузки.

2.3. Анализ дефектов и оценка пригодности детали

При анализе состояния детали, прежде всего, возникают вопросы: к какой группе должна быть отнесена деталь, и какие критерии использовать для этого?

К *первой* группе (годные для повторного использования) относят детали с износом в пределах допуска на изготовление или имеющих отклонения в пределах, допустимых техническими требованиями на дефектацию и ремонт, а также с незначительными повреждениями (мелкие царапины или вмятины).

Ко *второй* группе (подлежащие восстановлению) относят детали с износом, превышающим допустимые значения, или с повреждениями, устранение которых (с учетом служебного назначения детали) по техническим и экономическим соображениям целесообразно (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Дефекты второй группы и способы их устранения

Дефекты деталей и узлов	Способы устранения дефектов
Размеры деталей соответствуют чертежам или техническим требованиям на дефектацию и ремонт, но требуется доводка	Довести поверхности деталей до требуемой чистоты путем зачистки шкуркой, шлифования, полирования
Износ поверхностей деталей больше допустимого техническими требованиями на дефектацию и ремонт	Восстановить поверхности до требуемых размеров согласно чертежам основного производства или ремонтным чертежам способами: ремонтных размеров, электродуговая наплавка под слоем флюса и в среде защитных газов, вибродуговая наплавка, осталивание, хромирование, плазменное напыление, электроэрозионное наращивание, электромеханическое восстановление, заливка или наплавка цветным металлом, и др. с последующей механической обработкой
Детали, имеющие небольшие изгибы, вмятины,	Восстановить поверхности механической обработкой
Трещины	Засверлить конец трещины, произвести ее разделку и заварку или заделку эпоксидной смолой
Деталь и ее элементы изогнуты	Удалить изгиб рихтовкой или правкой
Резьба на валу имеет забоины, вмятины, срыв одного витка	Удалить забоины, вмятины, прорезать плашкой или резцом
Износ и повреждение резьбы сверх допустимых норм	Удалить поврежденную резьбу, наплавить, произвести механическую обработку
Изношены или деформированы резьбовые отверстия	Переход на ремонтный размер; изготовить на новом месте; заварить и изготовить резьбу на том же месте и др.
Износ шпоночных пазов по ширине на валу и во втулке	При износе до 5 % исправить форму паза и изготовить усиленную шпонку с соблюдением характера посадки; с износом свыше 5 % восстановить сваркой или путем фрезерования паза на новом месте
Наличие на зубьях шестерен ступеней в результате износа, коррозии и забоин на зубьях	Исправление профиля зубьев фрезерованием или зубошлифованием
Износ зубьев сверх допустимых норм, а также: сколы на зубьях неответственных зубчатых колес	Наплавка или осталивание после предварительного исправления формы зубошлифованием, дополнительным корригированием

К *третьей* группе (неподлежащие восстановлению – брак) относят детали с повреждениями, устранение которых (с учетом служебного назначения детали) технически невозможно или экономически нецелесообразно. К третьей группе относятся, прежде всего, детали с изломом и неисправимыми деформациями (например, кручения), табл. 2.3.

Таблица 2.3

Признаки дефектов третьей группы (брак) для типовых деталей

Деталь	Признаки дефектов третьей группы (брак окончательный)
Валы и оси	Крупные трещины, излом, остаточные деформации
Зубчатые колеса	Сколы торцов и вершин на ряде зубьев, выкрашивание цементационного слоя, износ и поднутрение зубьев, в результате которых изношено свыше 80 % толщины цементационного слоя, износ зубьев свыше предельного
Подшипники качения	Трещины, выкрашивание колец и тел качения, цвета побежалости, коррозия, шелушение, раковины, выбоины на беговых дорожках и сепараторах, оспы и отслоения, неравномерный износ беговых дорожек, радиальные и осевые зазоры сверх допустимых значений
Шлицевые валы	Сколы и изломы шлицев
Шпоночные пазы на валу и во втулке	Сколы цементированных и закаленных пазов, износ свыше предельного

Сведения, касающиеся дефектов детали, студент получает в задании на курсовую работу. Эти данные следует занести в таблицу (пример оформления приведен в табл. 2.4).

Пример 3

Основными поверхностями вала, подвергшимися износу, являются шейки под шариковый и роликовый подшипники. После ремонта размеры шеек должны отвечать требованиям рабочего чертежа:

– диаметр шейки под шариковый подшипник должен быть равен $90(^{+0,11}_{-0,11})$.

Размер соответствует 6-му квалитету точности с отклонением *js*, т. е. диаметр $90\,js6(^{+0,11}_{-0,11})$. Шероховатость поверхности шейки *R*a 0,2 мкм соответствует 9-му классу шероховатости.

Диаметр шейки под роликовый подшипник должен быть $100_{-0,022}$. Размер соответствует 6-му квалитету с отклонением *h*, т. е. $100h6(_{-0,022}^{0})$. Шероховатость поверхности шейки *R*a 0,8 мкм (7-й класс шероховатости);

– отклонение от цилиндричности шеек под подшипник должно быть не более 0,01 мм, радиальное биение их относительно оси не более 0,03 мм.

Необходимо выявить, какие дефекты детали являются устранимыми при ремонте. Детали, имеющие неустранимые дефекты, восстановлению не подлежат.

Первоначально следует определить абсолютный износ (Δ_1**)** поврежденных поверхностей:

$$\Delta_1 = D_{ср} - P_ф \,, \qquad (2.1)$$

где $D_{ср}$ – средний номинальный размер; $P_ф$ – фактический размер данной поверхности, полученный в задании.

Полученные данные также следует занести в табл. 2.4.

Таблица 2.3

Признаки дефектов третьей группы (брак) для типовых деталей

Деталь	Признаки дефектов третьей группы (брак окончательный)
Валы и оси	Крупные трещины, излом, остаточные деформации
Зубчатые колеса	Сколы торцов и вершин на ряде зубьев, выкрашивание цементационного слоя, износ и поднутрение зубьев, в результате которых изношено свыше 80 % толщины цементационного слоя, износ зубьев свыше предельного
Подшипники качения	Трещины, выкрашивание колец и тел качения, цвета побежалости, коррозия, шелушение, раковины, выбоины на беговых дорожках и сепараторах, оспы и отслоения, неравномерный износ беговых дорожек, радиальные и осевые зазоры сверх допустимых значений.
Шлицевые валы	Сколы и изломы шлицев
Шпоночные пазы на валу и во втулке	Сколы цементированных и закаленных пазов, износ свыше предельного.

При анализе следует сопоставить фактические размеры ($P_ф$), полученные при измерении детали (приведены в задании) с предельными ($P_{пр}$), с тем, чтобы по анализируемому размеру отнести деталь к 1 или 2 группе, если деталь не имеет признаков окончательного брака, с которыми деталь относят к 3 группе – (табл. 2.5).

Рекомендуемые нормы допустимых и предельных допусков на гладкие цилиндрические соединения приведены в таблице 2.5. Полученные данные также следует занести в таблицу анализа дефектов (см. табл. 2.4)**.**

Таблица 2.4

Сведения о дефектах детали

Наименование дефекта	Номинальный размер, мм	Фактический размер, мм	Предельный размер, мм	Абсолютный износ на сторону, Δ_1, мм	Примечание
Прогиб вала	–	0,11			
Износ шейки вала	90js6	119,4			
Износ шейки вала	100h6	149,6			

Таблица 2.5

Рекомендуемые нормы предельных и допустимых допусков на гладкие цилиндрические соединения в системе отверстия

Элементы	Характер посадки	Номинальные	Предельные
Отверстие	с зазором	*H*6	*H*11
		*H*7	*H*11
		*H*8	*H*12
		*H*9	*H*12
		*H*11	3*H*12
		*H*12	5*H*12
	переходные	*Js*7	1,5*F*7
		*Js*9	*D*10
Вал	с зазором	*h*6	*h*11
		*h*8	*h*12
		*h*9	3*h*12
		*h*12	5*h*12
		*f*7	*b*12
		*e*7	1,25 *b*12
		*e*8	1,5 *b*11
		*b*12	5,25 *b*12
		*d*8	1,5 *d*11
		*d*9	5 *d*9
	переходные	*n*6	*h*6
		*m*6	*h*6
		*k*6	*g*6
		*k*7	*f*8
		*js*6	*f*7
	с натягом	*u*7	*k*6
		*z*6	*k*6
		*s*6	*k*7
		*u*8	*k*7
		*s*8	*k*7
		*x*8	*k*7

Например, для вала:

- $P_ф > P_{пр}$ годные для повторного использования (1-я группа);
- $P_ф < P_{пр}$ подлежат ремонту (2-я группа).

Для отверстия:

- $P_ф < P_{пр}$ годные для повторного использования (1-я группа);
- $P_ф > P_{пр}$ подлежат ремонту (2-я группа).

2.3.1. Валы и оси

Предельный износ шеек валов и осей, установленных на подшипниках скольжения, приводится в табл. 2.6, а шеек, сопряженных с подшипниками качения, не превышает 0,1 мм.

Таблица 2.6

Предельный износ элементов вала

Назначение вала	Номинальный диаметр шеек, мм				
	20 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 200
Валы и оси для: зубчатых колес ходовых колес и опорных роликов	 0,3 0,5	 0,4 0,7	 0,6 1,0	 0,8 1,2	 1 1,4
Оси для канатных блоков	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4

В сопряжениях типа вал-втулка предельный износ при посадках с зазором наступает после увеличения номинального зазора в 2 раза для ответственных соединений и в 3 – 4 раза для неответственных. При посадках с натягом предельный износ наступает в случае уменьшения натяга ниже максимально допускаемого.

2.3.2. Предельный прогиб вала

Предельные допустимые значения прогиба вала составляют 0,15 мм на 1 м длины, но не более 0,3 мм на всю длину вала при частоте вращения меньше 8,3 $с^{-1}$ и 0,1 мм на 1 м длины и 0,2 мм на всю длину вала при частоте вращения больше 8,3 $с^{-1}$.

Прогиб валов и осей менее 0,5 мм устраняют шлифованием, до 0,01 длины вала – правкой в холодном состоянии, при прогибе 0,02 – 0,03 длины вала и более – правкой в нагретом состоянии при температуре 600 – 650 °С.

2.3.3. Зубчатые колеса

Величины допустимых износов зубьев зависят от конструкции, условий работы зубчатых колес. В общем случае для зубчатых колес горных машин допустимый износ зубьев принимают в пределах 8 – 15 % их толщины, причем меньшее значение износа для зубьев быстроходных и сильнонагруженных зубчатых передач, большее для тихоходных и малонагруженных.

В процессе износа зубчатых колёс изменяется толщина зуба и искажается его форма, что приводит к увеличению нагрузки на зубья при одновременном снижении их сопротивлению изгиба.

В связи с этим предельный износ зубьев стальных зубчатых колёс, работающих при окружных скоростях 3 м/с, принимают равным 3 – 10 % толщины зуба, измеряемой по начальной окружности (табл. 2.7).

Предельный износ тихоходных зубчатых колес наступает при достижении им 30 % по начальной окружности, быстроходных – 3 – 10 %. Для чугунных зубчатых колес эти цифры снижаются на 40 %. Если в зубьях есть упрочненный слой, то предельный износ наступает после его срабатывания до толщины слоя 0,2 – 0,25 мм.

В зубчатых колесах с цементированными зубьями выбраковочным признаком является растрескивание и выкрашивание цементированного слоя. Появление признаков выкрашивания последнего практически соответствует моменту его полного износа. Обычно при толщине цементированного слоя зубьев 1 мм наибольший износ не должен превышать 0,8 толщины этого слоя и 10 % толщины зуба. В таблице 2.7 приведены значения предельного износа зубьев зубчатых колес горного и строительного оборудования.

Таблица 2.7

Предельный износ зубьев зубчатых колес

Характер передачи мощности	Окружная скорость, м/с	Предельный износ, процент номинальной толщины зуба для ремонта	
		текущего	капитального
Длительный в одном направлении	2	12 – 15	25 – 30
	4	10 – 12	20 – 25
	5	8 – 10	15 – 20
С частым реверсированием	2	10 – 12	20 – 25
	4	9 – 11	15 – 20
	5	6 – 8	12 – 15

Примечание: Для чугунных зубчатых колес данные уменьшаются на 30 %,

Износ зубьев цементированных шестерен определяется в зависимости от толщины слоя цементации. Предельная величина износа в этих передачах берется такой, при которой толщина слоя цементации на зубьях остается не менее 0,2 – 0,25 мм. При этом возможны варианты:

а) зубья цементированы или закалены с нагревом ТВЧ. Предельный износ определяется в зависимости от глубины цементационного или закаленного поверхностного слоя:

$$\delta_{пр.} = 0{,}8 \cdot \delta_{ц}, \text{ мм},$$

где $\delta_{пр}$ предельная глубина износа упрочненного поверхностного слоя зуба; $\delta_{ц}$ глубина упрочненного слоя, мм.

б) зубья сырые или улучшенные (закалка с высоким отпуском). Предельный износ в этом случае принимается в зависимости от запаса прочности по изгибу:

$$\delta_{пр} = (0{,}1 – 0{,}24)m; \text{ или } \delta_{пр} = 0{,}25 \cdot S_{с},$$

где $\delta_{пр}$ предельный износ зуба с одной стороны, мм;

$S_{с}$ номинальная толщина зуба по постоянной хорде, мм;

m модуль зуба, мм.

Предельные износы зубьев червячных передач составляют 8 – 10 % для червяков и 10 – 12 % для червячного колеса.

2.3.4. Цементированные шлицы

Среднее уменьшение толщины каждого шлица на рабочей длине соединения для вала или втулки допускается не более 0,2 мм при диаметре вала до

50 мм и не более 0,3 мм при диаметре вала более 50 мм. При этом неравномерность износа допустима в пределах до 0,1 мм на 100 мм длины шлица. В шлицевых соединениях допускается увеличение бокового зазора, но не более 2 - 2,5 % значения, указанного в чертежах.

Предельный износ по толщине цементированных шлицев соответствует:

$$\delta_{пр} = (0{,}2 - 0{,}4) \cdot \delta_{ц}, \text{ мм},$$

где $\delta_ц$ глубина цементационного слоя, мм.

Предельный износ улучшенных шлицев эвольвентного профиля составляет:

$\delta_{пр} = (0{,}06 - 0{,}1) \cdot m$, а прямобочных – $\delta_{пр} = (0{,}03 - 0{,}05) \cdot b$; мм,

где b толщина шлицев, мм.

Износ центрирующих диаметров шлицев в отверстии $H8$ или $H9$ допускается до верхнего отклонения $H10$. Износ центрирующих диаметров шлицов на валах $h6$ допускается до нижнего отклонения $h9$; $h7$ до нижнего отклонения $h10$ и $f7$ до нижнего отклонения $f10$.

2.3.5. Шпоночные пазы

Боковой зазор в шпоночном соединении не допускается. При креплении с помощью шпонки детали не должны покачиваться на валу.

Для шпоночных пазов допустим износ (разбивка) по ширине в пределах 5 % номинального размера паза. В этом случае механической обработкой исправляют форму паза и используют усиленную шпонку. За пределами большего износа переход на усиленную шпонку недопустим.

Зазоры между верхней гранью шпонки и ступицей шпоночных соединений при диаметре вала 20 - 40 мм составляют 0,1 ÷ 0,3 мм; при 41- 80 мм – 0,1 ÷ 0,4 мм; свыше 80 мм – 0,1 ÷ 0,5 мм.

Шпоночные пазы, имеющие незначительный износ, обрабатывают под ремонтный размер, который не должен превышать номинальный более чем на 15 %. Соответственно изменяется и размер шпонки.

Ниже для иллюстрации материала приводятся примеры.

Пример 4

Диаметр шейки вала равен $100n6(^{+0{,}045}_{-0{,}023})$. Средний номинальный размер $D_{ср}$ составляет (100,045 + 100,023)/2 = 100,034. Из данных табл. 2.5 следует, что за предельную величину износа вала при посадке $n6$ следует принять размер, соответствующий $h6$, т. е. диаметр $100n6(^{0}_{-0{,}022)})$ мм. Тогда средний предельный размер равен (100,000 + 99,978)/2 = 99,989 мм.

Значение фактического диаметра $P_ф$ (согласно заданию) равно 99,030 мм. Сопоставляя фактический размер 99,030 со средним предельным – 99,989, видно, что фактический размер вышел за рамки предельного размера. Следовательно, вал соответствует второй группе и подлежит восстановлению.

Полученные данные заносим в табл. 2.8.

При этом абсолютный линейный износ вала на сторону составляет

$$\Delta_1 = [D_{ср} - P_ф]/2 = [(100{,}045 + 100{,}023)/2 - 99{,}030]/2 = 0{,}5 \text{ мм}.$$

Пример 5

По результатам измерений зубьев толщиной $S_c = 16{,}64^{-0{,}41}_{-0{,}77}$ фактическая ширина зубьев ($S_ф$) составляет 14,30 мм. Предельный износ зуба равен

$$И_{пр} = 2\delta_{пр} = 0{,}25 \cdot S_c = 0{,}25\ (16{,}23+15{,}87)/2 = 4{,}0125 \text{ мм}.$$

Тогда предельная ширина зуба составит:

$$S_{пр} = S_c - И_{пр} = (16{,}23+15{,}87)/2 - 4{,}0125 = 16{,}05 - 4{,}0125 = 12{,}037 \text{ мм}.$$

При этом абсолютное уменьшение толщины зуба составит

$$\Delta = S_c - S_ф = 16{,}05 - 14{,}30 = 1{,}75 \text{ мм}.$$

Вывод: поскольку $S_ф > S_{пр}$, размер зубьев находится в пределах допустимых значений, деталь относится к 1-ой группе, т. е. годна без восстановления.

Таблица 2.8

Анализ дефектов детали

Наименование дефекта	Номинальный размер, мм	Фактический размер, мм	Предельный размер, мм	Абсолютный износ на сторону, Δ_1, мм	Примечание
Износ шейки вала	$100n6\left(^{+0{,}045}_{+0{,}023}\right)$	99,030	$100h6\left(^{0}_{-0{,}022}\right)$	1,004	$P_ф < P_{пр}$ подлежит ремонту
Износ …					

Пример 6

Дан шлицевой вал с центрирующим внутреннем диаметром $36e8^{-0{,}055}_{-0{,}089}$). Из данных табл. 2.5 следует, что за предельную величину износа вала при посадке $e8$ следует принять размер, соответствующий $1{,}5b11(^{-0{,}170}_{-0{,}330})$, т. е. размеру $36(^{-0{,}255}_{-0{,}495})$мм. Фактический диаметр $P_ф$ в месте наибольшего износа составил 34,14 мм. Из сопоставления размеров видно, что износ превышает предельный. Абсолютный максимальный износ шлицев по внутреннему диаметру составил:

$$\Delta_1 = (35{,}950+35{,}911)/2 - 34{,}140 = 1{,}79 \text{ мм}.$$

Выбор способа восстановления определяется аналогично примеру 3. Проанализируем параметр «b» (толщина шлица). Размер по чертежу равен:

$7f8(^{-0{,}013}_{-0{,}035})$, тогда $b_{ср} = (6{,}987+6{,}965)/2 = 6{,}976$ мм.

Принимаем предельный износ по толщине шлица равным $0{,}05 \cdot b$. Тогда предельная толщина шлица $b_{пр} = b_{ср} - 0{,}05 \cdot b = 6{,}976 - 0{,}05 \cdot 7 = 6{,}626$ мм, принимаем $b_{пр} = 6{,}23$. Фактическая толщина шлица $b_ф = 6{,}15$ мм.

Сопоставляя фактический размер с предельным, убеждаемся, что шлицы подлежат восстановлению. С учетом размеров, целесообразным способом восстановления можно признать вибродуговую наплавку на боковые поверхности шлицев. Данный способ исключает высокий нагрев, фазовые и структурные изменения в материале детали.

Износ по ширине шлица составит:

$$И_{iш} = b_{ср} - b_{ф} = 6{,}976 - 6{,}150 = 0{,}826 \text{ мм}.$$

Пример 7

Шпоночный паз с размером по чертежу $16H9\ (^{+0{,}043})$. Фактическая ширина паза 16,93 мм. Следовательно, износ паза по ширине составляет

$$\Delta_1 = b_{ф} - b_{ср} = 16{,}93 - (16{,}000 + 16{,}043)/2 = 0{,}909 \text{ мм}.$$

Предельный износ паза соответствует величине

$$b_{пр} = b_{ср} + 0{,}05 \cdot b = 16{,}021 + 0{,}05 \cdot 16 = 16{,}021 + 0{,}80 = 16{,}821 \text{ мм}.$$

Сопоставляя фактический и предельный размеры, убеждаемся, что износ паза выше предельного. Паз можно заплавить и профрезеровать на новом месте.

2.4. Выбор способа восстановления деталей

2.4.1. Особенности технологического процесса восстановления деталей

В отличие от технологического процесса изготовления деталей, процесс их восстановления имеет специфические *особенности*. При изготовлении сырьем для готовой детали служит заготовка, в то время как при восстановлении заготовкой является сама деталь с измененными размерами, формой и свойствами материала.

Целью технологического процесса восстановления деталей является возвращение детали утраченной работоспособности.

Задачей проектирования технологического процесса восстановления деталей является выбор наиболее рационального способа, обеспечивающего необходимую долговечность детали при наименьшей стоимости ее восстановления в условиях данного предприятия.

Поверхности деталей могут быть восстановлены, как правило, несколькими способами. Наиболее прогрессивными являются способы, основанные на нанесении покрытия на поверхность детали.

Выбор рационального способа восстановления зависит от конструктивно-технологических особенностей деталей (формы и размера, материала и термообработки, поверхностной твердости и шероховатости), от условий ее работы (характера нагрузки, рода и вида трения) и величины износа, а также стоимости восстановления.

Для учета всех этих факторов выбор способа восстановления детали рекомендуется вести последовательно с *использованием трех критериев:*

- технологического критерия или критерия применимости;
- технического критерия или критерия долговечности;
- технико-экономического критерия.

Рассмотрим их по порядку.

2.4.2. Технологический критерий

Знание структурных характеристик деталей, условий их работы и эксплуатационных свойств способов ремонта позволяет, в первом приближении, решить вопрос о применимости того или иного из них для восстановления отдельных деталей. При помощи такого анализа можно установить, какие из деталей могут восстанавливаться всеми или несколькими способами и какие по своим структурным характеристикам допускают только один способ восстановления.

Технологический критерий (критерий применимости) учитывает, с одной стороны, особенности подлежащих восстановлению поверхностей деталей, а с другой – технологические возможности соответствующих способов восстановления, т. е. определяет принципиальную возможность применимости того или иного способа восстановления к конкретным деталям (табл. П4.1 и П4.2).

Технологический критерий не может быть выражен числом и является по существу предварительным, поскольку при его помощи нельзя решить вопрос выбора рационального способа восстановления деталей, если этих способов может быть несколько.

Происходит сравнение технологических возможностей способов ремонта с теми требованиями, которые выдвигает данный дефект детали. Так, например, при помощи данного критерия заранее можно сказать, что детали небольшого диаметрального размера, имеющие высокую поверхностную твердость и незначительные износы (стержни клапанов и толкателей, шейки валов коробки передач под подшипники качения и т. п.), нерационально восстанавливать металлизацией и наплавками – ручной электродуговой и автоматической под слоем флюса**.** Внутренний диаметр 20 мм невозможно восстановить автоматизированной наплавкой, а коррозию поверхности не восстановить пластическим деформированием.

Отобранные по этому критерию способы восстановления должны удовлетворять трём условиям:

1. по своим технологическим особенностям они должны быть приемлемы к данной детали;
2. устранять имеющиеся дефекты;
3. способность данного способа восстановления обеспечить требуемую толщину наносимого покрытия

$$t_{тр} < t_{м}, \qquad (2.2)$$

где $t_{тр}$ – требуемая толщина наносимого покрытия на сторону, мм;

$t_{м}$ – толщина наносимого покрытия на сторону, обеспечиваемая данным методом (табл. П4.3).

Требуемую толщину наносимого покрытия можно примерно оценить следующим образом:

$$t_{тр} = \delta_{max} + Z, \qquad (2.3)$$

где δ_{max} – максимальный износ поверхности на сторону;

Z – суммарный припуск на сторону на механическую обработку (табл. П4.3).

Пример 8

Оценить с позиций технологического критерия восстановления внешней цилиндрической поверхности 45*k*7, изношенной до 44,4 мм. Вал работает в условиях динамических нагрузок.

Для восстановление детали можно применить нескольких способов:

- Осталивание.

Обладает хорошими технико-экономическими показателями, высокой производительностью и относительной дешевизной.

- Хромирование.

Обладает хорошими технико-экономическими показателями, высокой поверхностной твердостью и износостойкостью.

- Наплавка в среде защитного газа.

В качестве защитной среды используется углекислый газ или водяной пар. Обеспечивает восстановление стальных и чугунных деталей диаметром более 12 мм, работающих в различных условиях. Восстановлению подлежат как гладкие, так и шлицевые валы.

- Плазменная наплавка.

Обеспечивает восстановление стальных и чугунных ответственных деталей.

- Газопламенное напыление (металлизация).

Наружные и внутренние цилиндрические поверхности неподвижных сопряжений при невысоких требованиях к прочности сцепления с основным материалом. Обеспечивает восстановление изношенных мест под неподвижные и подвижные посадки. Ограниченное применение для деталей, испытывающих динамические нагрузки.

- Наплавка под слоем флюса.

Наплавка деталей диаметром более 50 мм при повышенных требованиях к качеству наплавленного материала с толщиной наплавленного слоя более 1мм.

Поскольку вал работает в условиях динамических нагрузок, то способ восстановления металлизацией (газопламенным напылением) не подходит.

Наплавка под слоем флюса также не подходит, так как диаметр вала меньше 50 мм.

Оставшиеся способы проверяем по толщине наносимого покрытия. Износ поверхности на сторону; $\Delta_1 = (45 - 44{,}4)/2 = 0{,}3$ мм. Суммарный припуск на сторону на механическую обработку Z берем согласно таблице П4.3. Полученные результаты заносим в табл. 2.9.

Из анализа таблицы следует, что при износе вала 0,3 мм на сторону его можно восстановить наплавкой в среде углекислого газа, плазменной наплавкой и осталиванием, но нельзя восстановить хромированием. Хромирование не проходит отбор по данному критерию.

Таблица 2.9

Выбор способов восстановления по технологическому критерию

Способ восстановления	$t_м$, мм	Z, мм	$t_{тр}$, мм	$t_{тр} < t_м$,
Осталивание	3,0	0,1	0,4	Да
Хромирование	0,3	0,1	0,4	Нет
Наплавка в среде углекислого газа	3	2	2,3	Да
Плазменная наплавка	4	2	2,3	Да

2.4.3. Технический критерий (критерий долговечности)

Технический критерий, в отличие от критерия применимости, численно выражается через коэффициент долговечности для каждого из способов восстановления и каждой конкретной детали (табл. П4.4, П4.5). Долговечность деталей, восстановленных теми или иными способами, зависит от эксплуатационных свойств покрытия. Наиболее рациональными способами будут те из них, которые обеспечивают наибольшую долговечность восстановленной детали.

После отбора способов, которые могут быть применены для восстановления той или иной изношенной поверхности детали, исходя из технологических соображений, отбирают те из них, которые обеспечивают наибольший последующий межремонтный ресурс этих поверхностей, т. е. удовлетворяют требуемому значению коэффициента долговечности $K_д$.

Коэффициент долговечности $K_д$ в общем случае является функцией трех других коэффициентов:

$$K_д = f(K_и\, K_в\, K_{сц}), \qquad (2.4)$$

где $K_и$ – коэффициент износостойкости; $K_в$ – коэффициент выносливости; $K_{сц}$ – коэффициент сцепляемости.

Для численного выражения критерия долговечности необходимо рассмотреть сравнительные характеристики эксплуатационных свойств способов.

В табл. П4.5 представлены значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости для наиболее распространенных методов восстановления. Коэффициент долговечности $K_д$ численно принимается равным значению того коэффициента, который имеет наименьшую величину.

При выборе способов восстановления применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численное значение коэффициента долговечности определяется только численным значением коэффициента износостойкости.

Чтобы обеспечить работоспособность восстановленной детали в течение всего межремонтного периода, коэффициент долговечности должен превышать значение 0,8 (больше не требуется). Поэтому из числа способов, отобранных по технологическому критерию, к дальнейшему анализу принимаются те, которые обеспечивают коэффициент долговечности восстановленных поверхностей не менее 0,8.

Пример 9

Рассмотрим способы восстановления коленчатого вала диаметром $80h9$, прошедшие технический критерий. Данные сведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Выбор способов восстановления по техническому критерию

Способ восстановления	Коэффициенты			
	$K_и$	$K_в$	$K_ц$	$K_д$
Осталивание	0,9 – 1,2	0, 8	0,65 – 0,8	0,7
Наплавка в среде углекислого газа	0,85	0,9 – 1,0	1,0	0,9
Плазменная наплавка	1,0 – 1,5	0,8 – 1,3	1,0	0,9
Постановка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0	0,8

Способ восстановления коленчатого вала осталиванием не подходит, так как $K_д < 0,8$.

2.4.4. Технико-экономический критерий

Первые два критерия выражают техническую часть задачи без учета экономической целесообразности того или иного способа. Поэтому необходима еще оценка способов восстановления при помощи экономического критерия, определяемого стоимостью восстановления деталей. Окончательное решение вопроса выбора рационального способа производится при помощи технико-экономического критерия, связывающего долговечность детали с экономикой ее восстановления.

Из всех прошедших отбор по техническому и технологическому критериям способов выбирают тот, у которого коэффициент экономической эффективности ($K_{эф}$) будет наименьшим

$$K_{эф} = C_у / K_д , \qquad (2.5)$$

где $K_д$ коэффициент долговечности восстановленной поверхности;

$C_у$ удельная себестоимость восстановления, руб/м^2 (табл. П4.6).

Полученные результаты следует занести в таблицу.

Пример 10

Рассмотрим способы восстановления шпоночного паза шириной 5 мм, прошедшие технический и технологический критерии (табл. 2.11).

Минимальное значение $K_{эф} = 500$ соответствует хромированию. Следовательно, выбираем данный способ.

Предварительно отобранные методы восстановления для каждого дефекта по техническому, технологическому и технико-экономическому критериям рекомендуется свести в таблицу и ранжировать по значению технико-экономического показателя. Заканчивается анализ окончательным выбором способа восстановления всей детали, в наибольшей степени удовлетворяющего всем трем критериям.

Таблица 2.11

Сравнение способов восстановления

Способ восстановления	$C_у$, руб/м^2	$K_д$	$K_{эф}$
Вибродуговая наплавка	800 - 1000	0,82	1451,6
Плазменное напыление	1000 - 1400	0,5	2400
Электромеханическая обработка	800 - 900	1,1	727,8
Хромирование	400 - 900	1,3	500

Пример 11

Из проведенного анализа заданной детали для каждого вида дефекта был выбран способ восстановления, прошедший технический, технологический и технико-экономический критерии. Для окончательного выбора способа восстановления всей детали, в наибольшей степени удовлетворяющего всем трем критериям, данные сведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Выбор способа восстановления по техническому критерию

Дефект поверхности	Выбранный способ восстановления	$K_{эф}$
Износ шейки вала	Наплавка под слоем флюса	1625
Износ шпоночного паза	Вибродуговая наплавка	1451
Срыв двух ниток резьбы	Плазменное напыление	2400

Окончательно, для восстановления всей детали, выбираем вибродуговую наплавку, так как ей соответствует минимальное значение коэффициента экономической эффективности.

2.4.5. Рекомендации по выбору способов восстановления деталей

По результатам работы ремонтных предприятий можно дать некоторые общие рекомендации по выбору рациональных способов восстановления деталей, применительно к различным видам сопряжений.

Для деталей *неподвижных соединений*, при нанесении слоя толщиной 0,02 – 0,08 мм целесообразно применять электроискровое наращивание и осталивание.

Для деталей *подвижных соединений:*

- работающих в условиях трения-скольжения, при нанесении слоя толщиной до 1 мм, рационально хромирование и твердое осталивание;
- при толщине нанесения до 2 мм лучше всего вибродуговая наплавка и металлизация; при восстановлении деталей, входящих в группу подвижных соединений и работающих в условиях трения качения;
- при толщине нанесения слоя 2,5 – 3 мм рекомендуется применять вибродуговую наплавку;

- при толщине нанесения слоя свыше 3 мм – автоматическую электродуговую сварку под слоем флюса или вибродуговую наплавку.

2.5. Разработка маршрута восстановления детали

При разработке технологического маршрута ремонта следует выбрать методы восстановления и обработки поверхностей, определить состав и содержание операций, в том числе назначить число и последовательность переходов, а также определить тип применяемого оборудования. В курсовой работе разрабатывается технологический процесс исходя из необходимости устранения всех дефектов детали.

Разработка технологического маршрута может быть представлена следующей схемой:

1. Если технологические базовые поверхности детали нарушены или отсутствуют, то в первую очередь необходимо их обработать.

2. Затем восстанавливают другие поверхности в последовательности, обратной их степени точности.

3. Заканчивается обработка поверхностью, которая является наиболее точной и имеет наибольшее значение для детали.

4. При наличии термической или химико-термической обработки, она выделяется в отдельную операцию.

5. Контрольные операции выполняют в конце технологического процесса ремонта детали, и после выполнения наиболее ответственных операций.

Другими словами, первоначально выполняются работы по восстановлению базовых поверхностей, затем грубые и черновые (сварка, наплавка, обдирка и т. п.) и, наконец, чистовые отделочные операции. В начале технологического процесса выполняют подготовительные операции: очистку, обезжиривание, правку и восстановление базовых поверхностей.

Следует иметь в виду, что перед нанесением покрытия необходимо проводить механическую обработку поверхности детали, чтобы пространственно разделить межфазную границу "покрытие-деталь" и плоскость действия наибольших касательных напряжений. В противном случае, при дальнейшей механической обработке или при эксплуатации может произойти локальное или полное отделение покрытия от детали, что сведет на нет все усилия по её восстановлению.

Затем производят наращивание изношенных поверхностей (наплавку, металлизацию и др.). При этом в первую очередь выполняют операции, связанные с нагревом детали до высокой температуры (сварку, наплавку, термическую обработку). Затем выполняют операции, не требующие нагрева деталей (хромирование, осталивание и др.). После «наращивания» выполняют операции механической обработки ремонтируемых деталей.

Необходимо учитывать, что механическая обработка в условиях ремонтного производства имеет ряд особенностей:

- нестабильность физико-механических свойств по поверхности восстанавливаемой детали и неравномерность припусков на обработку;
- значительную твердость и хрупкость большинства видов покрытий.

Полученные данные рекомендуется свести в таблицу. В качестве примера в табл. 2.13 приведен вариант технологического маршрута восстановления коленчатого вала двигателя автомобиля, размеры шеек которого вышли за пределы «последнего» ремонтного размера, поэтому их восстанавливают наплавкой.

Таблица 2.13

Технологический маршрут восстановления коленчатого вала

Номер операции	Наименование	Содержание операции	Оборудование
05	Моечная	Промыть и очистить	Моечная машина
10	Дефектовочная	Выявить трещины на шейках вала	Магнитоэлектрический дефектоскоп
15	Слесарная	Править вал	Пресс
20	Токарная	Расточить отверстие под подшипник	Токарный станок
25	Запрессовывание	Запрессовать втулку в отверстие под подшипник	Пресс
30	Токарная	Расточить отверстие во втулке	Токарный станок
35	Наплавочная	Наплавить шатунные и коренные шейки	Установка для автоматической наплавки
40	Круглошлифовальная	Шлифовать шейки вала предварительно (начерно)	Круглошлифовальный станок
45	Круглошлифовальная	Шлифовать шейки вала окончательно (начисто)	Круглошлифовальный станок

Для ремонта детали составляют обычно несколько вариантов маршрутного технологического процесса (обычно 2 – 3 варианта), сопоставив которые, выбирают оптимальный. Варианты могут отличаться методами восстановления и обработки поверхностей, технологическими базами, последовательностью восстановления и обработки поверхностей и выполнения операций, применяемым оборудованием и др.

Одним из критериев выбора маршрута технологического процесса служит анализ точности ремонта, в соответствии с которым для реализации принимают маршрут, обеспечивающий получение детали с заданными параметрами качества (точности).

2.6. Расчет припусков при восстановлении детали

При назначении режимов обработки восстанавливаемых поверхностей деталей машин необходимо рассчитать толщину снимаемого слоя при удалении износа с поверхности детали и значение величины наносимого слоя, компенсирующего износ и обеспечивающего получение номинального размера поверхности детали ($D_н$), с заданными требованиями по точности и шероховатости.

Расчётная схема при определении величины слоя наносимого материала при восстановлении работоспособности поверхности (наружной цилиндрической) приведена на рис. 2.1.

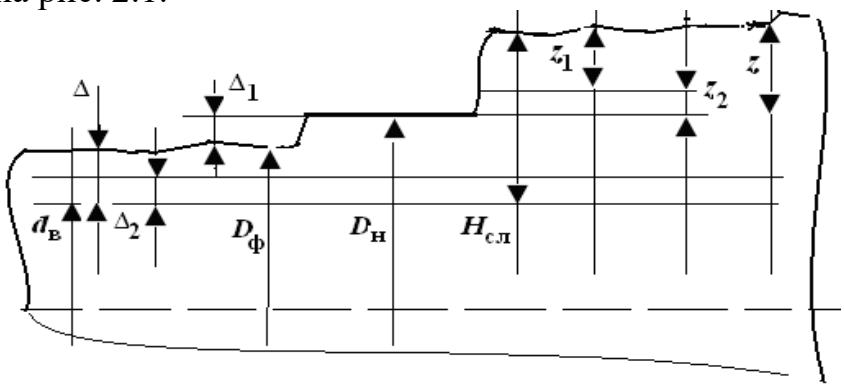


Рис. 2.1. Схема расчета наносимого слоя при восстановлении поверхности: $H_{сл}$ – толщина слоя наносимого материала; Δ – толщина снимаемого слоя; $Δ_1$ – величина износа; $Δ_2$ – толщина дефектного слоя материала; z – припуск на механическую обработку, z_1 – припуск на черновую обработку, z_2 – припуск на чистовую обработку, $d_в$ – диаметр поверхности, подготовленной к восстановлению, $D_н$ – номинальный размер, $D_ф$ – фактический размер

Толщина наносимого слоя $H_{сл}$ зависит от требований по точности и шероховатости размера восстанавливаемой поверхности и определяется величиной толщины снимаемого слоя Δ и припуском на последующую механическую обработку z:

$$H_{сл} = Δ + z\ . \qquad (2.6)$$

Толщина снимаемого слоя с изношенной поверхности перед восстановлением определяется износом поверхности $Δ_1$ и толщиной дефектного слоя $Δ_2$. Толщина дефектного слоя принимается равной $0{,}1Δ_1$. Тогда

$$Δ = Δ_1 + Δ_2 = Δ_1 + 0{,}1Δ_1 = 1{,}1\ Δ_1. \qquad (2.7)$$

Припуск на механическую обработку z включает в себя припуски на черновую z_1 и чистовую z_2 обработки (табл. П. 4.6, П4.7). Припуски на черновую z_1 и чистовую z_2 обработки определяются в зависимости от требований по точности и шероховатости номинального размера поверхности и во многом зависят от способа устранения дефекта поверхности (сварка, наплавка, металлизация, электролитические покрытия и т. д.).

Таким образом, величина слоя материала, наносимого на изношенную поверхность, зависит от величины износа, квалитета точности и класса шероховатости номинального размера поверхности и способа восстановлении износа. Как правило, чем ниже квалитет точности поверхности и выше класс шероховатости поверхности, тем величина слоя материала, наносимого на изношен-

ную поверхность, больше (требуется большее количество переходов при обеспечении номинального значения размера, восстанавливаемой поверхности).

Значения всех припусков сводятся в таблицу. Полученное значение величины толщины наносимого слоя $H_{сл}$ для всех способов восстановления, кроме электрохимического и химического, округляется в большую сторону до целого числа $H^*_{сл}$. Увеличение величины $H^*_{сл}$ следует учесть при расчетах режимов резания.

3. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

3.1. Требования к материалам

Восстановление изношенной поверхности детали предполагает нанесение покрытия, основные эксплуатационные свойства которого близки к свойствам изношенного слоя. Обычно используют тот же материал, из которого изготовлена восстанавливаемая деталь. Исключение составляет чугун. При восстановлении деталей из чугуна используется сталь 20.

Формирование на изношенной поверхности покрытия, полностью идентичного по химическому составу, структуре и свойствам изношенному слою, является, как правило, технически сложной и экономически нецелесообразной задачей. Поэтому нанесенные покрытия значительно отличаются от металла изношенного слоя.

При выборе материала для защитного покрытия руководствуются следующей исходной информацией:

– воздействию каких видов изнашивания подвержена деталь;

– из какого материала изготовлена деталь;

– какой технологический процесс предпочтителен;

– каковы свойства восстановленной поверхности;

– какова допустимая стоимость восстановления.

Определяющими являются эксплуатационные свойства поверхностного слоя детали, которые, в свою очередь, зависят от условий эксплуатации и характера разрушения. Условия работы восстанавливаемых и упрочняемых деталей разнообразны (табл. 3.3 [1]).

Для обеспечения высокой стойкости против разрушения при различных видах изнашивания наплавленный металл по структуре и свойствам должен отвечать требуемым свойствам. Свойства материала определяются химическим составом и структурой.

3.2. Металлическая проволока и лента

Стальная сварочная проволока согласно ГОСТ 2246-70 делится на низкоуглеродистую, легированию и высоколегированную. Предусмотрено 77 марок проволок диаметром 0,3-12 мм. Проволоку применяют для наплавки, электроконтактной приварки и газотермического напыления [1].

Для механизированной наплавки по ГОСТ 10543-98 выпускается специальная *наплавочная проволока* типа Нп диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4.0; 5,0; 6,5 и 8,0 мм. Наплавочная проволока разделена на три группы: из углеродистых сталей, из легированных сталей и высоколегированных сталей (табл. 3.7 [1]). На практике в наплавочных работах находит также применение стандартная сварочная проволока по ГОСТ 2246-70 и проволока, предназначенная для изготовления пружин по ГОСТ 9389-75.

Проволока для напыления. Для газотермических покрытий применяют сварочную и наплавочную (Св-О8Г2С, Св-07Х19Ц9ТЮ, НП-65Г, НП-4ОХ13 и др.) проволоку. За рубежом ряд фирм выпускают специальную проволоку для газотермических покрытий. Фирма «Metco» (в настоящее время «Sulzer Metco», Швейцария) длительное время занимается разработкой технологии и проволочных материалов для газотермических покрытий (табл. 3.8 [1]).

3.3. Штучные электроды и прутки

Наплавочные покрытые электроды представляют собой электродный стержень с толстым электродным покрытием. Как правило, для электродного стержня применяют низкоуглеродистую сварочную проволоку, а требуемый химический состав наплавки формируется за счет легирующих порошков, вводимых в электродное покрытие. Электроды применяют для ручной электродуговой наплавки различных деталей. Предпочтительна наплавка на постоянном токе обратной полярности. Реже применяется наплавка на переменном токе.

В группу электродов для наплавки входят электроды, предназначенные для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды изготовляют и поставляют в соответствии с требованиями ГОСТ 9466-75 и 1005-75. Для наплавочных работ в некоторых случаях также используют сварочные электроды, например электроды, предназначенные для сварки высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных сталей.

Согласно ГОСТ 10051-75 электроды для наплавки по химическому составу наплавленного металла и твердости при нормальный температуре классифицированы на 44 типа [1].

К группе электродов для сварки и наплавки чугуна относятся электроды, предназначенные для устранения дефектов в чугунных отливках с помощью холодной сварки и наплавки, а также электроды, используемые при ремонте вышедшего из строя оборудования и восстановлении изношенных деталей. В табл. 3.11 [1] представлены электроды, которые применяются для сварки и наплавки алюминиевых, медных и никелевых сплавов.

Наплавочные прутки. Прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Прутки получают литьем. Их изготовляют диаметром 4; 6; 8; 10: 12; 14 и 16 и длиной 250; 300; 350; 400; 450 и 500 мм.

Литые прутки используют также для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой наплавки (табл. 3.12 [1])), например, марки ГН-1 со стержнем из сплава Сормайт и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК.

Присадочные прутки, используемые при сварке чугуна, в зависимости от назначения (ГОСТ 2671-70) ШИКП марки ПЧ1, ПЧ2, ПЧН1, ПЧН2 и др.

3.4. Порошки

Номенклатура порошковых материалов для наплавки и напыления включает металлические и композиционные порошки, порошковые смеси, тугоплавкие соединения (рис. 3.6 [1]).

В табл. 3.15 [1] представлены марки порошков высокоуглеродистых легированных сплавов. Эти наплавочные сплавы применяются для упрочнения и восстановления деталей машин, систем гидравлических приводов и др. Они наносятся плазменной и индукционной наплавкой. Сплавы ПР-Х30ГСР и ПР-ФМИ могут также наплавляться газопламенной горелкой с добавлением флюса в ее факел.

Наиболее распространенными самофлюсующимися порошками являются сплавы на основе никеля, легированные бором и кремнием. Они отличаются высокими технологическими свойствами и низкой температурой плавления, что позволяет наплавлять стальные летали на воздухе. Покрытия стойки к воздействию агрессивных сред, повышенных температур, износоустойчивы при трении по металлу со смазкой и без нее, а также при абразивном изнашивании. По уровню износостойкости покрытия из самофлюсующихся сплавов в 3-5 раз превосходят закаленные инструментальные стали. По американской спецификации эти сплавы называют Колмонои, а в Японии – Фукудалои.

В табл. 3.19- 3.21 [1] представлены марки и области применения самофлюсующихся порошков на никелевой основе, в разное время выпускавшихся в СНГ и за рубежом.

Специфические свойства присущи *порошкам тугоплавких соединений.* К ним относятся карбиды, оксиды, бориды, нитриды, интерметаллиды и их комбинации. Наиболее часто их применяют для напыления газотермических покрытий. Широко используют оксиды и карбиды. По сравнению с другими высокотемпературными материалами оксиды имеют наиболее низкую тепло- и электропроводность, но значительную прочность при высоких температурах.

Сочетание положительных свойств различных типов порошков и получение частиц, удовлетворяющих комплексу требований, реализуется в *композиционных порошках.* В зависимости от конструкции различают плакированные и конгломератные композиционные частицы. Первые представляют собой исходную частицу одного из материалов, на поверхности которой расположен слой или несколько слоев других материалов. Конгломератная частица сформирована из множества исходных частиц нескольких материалов.

3.5. Порошковая проволока и ленты

Порошковая проволока состоит из мягкой тонколистовой металлической оболочки и сердцевины, которая представляет собой смесь порошков ферросплавов, чистых металлов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразую-

щих и стабилизирующих горение дуги веществ. Наиболее распространенный диаметр порошковой проволоки 2,6 – 3,6 мм, однако для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром до 8 мм.

Порошковую проволоку выпускают четырех типов: для наплавки под флюсом, в среде защитных газов, в атмосфере воздуха, универсальную. В странах СНГ изготовляют легированную и высоколегированную порошковую проволоку, обеспечивающую износостойкую и коррозионно-стойкую наплавку (табл. 3.27 [1]).

Ленточные электроды позволяют повысить производительность процесса наплавки и уменьшить глубину проплавления основного металла. Холоднокатаную ленту можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготовляют спеченную и порошковую ленты. *Спеченную металлокерамическую ленту* на железной основе производят из смеси металлических порошков ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси и последующего спекания в защитной среде.

Важными преимуществами проволочного и стержневого процессов по сравнению с порошковым являются нагрев материала до жидкого состояния и нанесение на поверхность изделия покрытий из таких расплавленных частиц с высокой скоростью. При напылении некоторых материалов (оксидов) скорость полета частиц достигает 200 м/с. Полученные таким образом покрытия по прочности и плотности не уступают плазменным, а стоимость их ниже плазменных в 2 – 3 раза.

3.6. Синтетические материалы

В настоящее время на ремонтных предприятиях большое количество различных деталей машин изготовляют из полимерных материалов. Например, подшипники опорных катков экскаваторов и тракторов, втулки шарниров рессорных подвесок грузовых автомобилей, втулки ходовых колес кранов, штуцера, манжеты, прокладки и другие детали гидравлических систем, блоки грузоподъемных машин, рабочие органы насосов и вентиляторов, детали воздухоочистителей, фрикционных муфт, зубчатые и червячные колеса и др.

При выборе пластиков необходимо учитывать следующие основные требования. Физико-механические свойства выбираемых пластиков должны быть близки к свойствам материала детали или соответствовать нагрузкам, которые возникают в сопряжениях. Износостойкость пластиков должна быть не ниже износостойкости восстанавливаемых деталей. Адгезия (прилипаемость) пластиков к материалу детали должна быть высокой. Для повышения адгезии возможно применение различных клеев. При выборе пластиков необходимо учитывать размер и направление усадки пластмассового слоя. Направление сил усадки пластмассы должно совпадать с направлением сил адгезии, т. е. усадка должна улучшать сцепление слоя пластмассы с материалом детали.

На поверхности деталей пластмассу наносят намазкой, напылением, оплавлением и др. способами.

Не рекомендуется покрывать пластмассой сопрягаемые поверхности валов и отверстий одновременно, в связи с тем, что пластмассы плохо отводят тепло.

3.7. Выбор и определение нормы расхода материала

По своему назначению материалы для восстановления деталей подразделяются на основные и вспомогательные. Выбранные материалы – наплавочная проволока, лента, порошок, флюс, технологические газы – должны обеспечивать выполнение технических требований к восстановленной детали, изложенных на ремонтном чертеже. Современные способы восстановления деталей характеризуются разнообразием применяемых материалов. Их назначение и характеристики даны в специальной справочной и учебной литературе [1, 7, 9]. Марки и назначение основных материалов для дуговой сварки и наплавки и приведены в прил. 5.

Для ручной дуговой сварки и наплавки применяются различные электроды. Марки, типы электродов, их назначение даны в справочнике [1]. Там же приведены марки и назначение стальной наплавочной и сварочной проволоки.

В последние годы при восстановлении деталей в больших объемах применяют порошковые проволоки и ленты. Марки и назначение порошковых спеченных лент даны в справочнике [1]. Для дуговой наплавки применяются плавленые и керамические флюсы и их смеси.

Норму расхода основных и вспомогательных материалов для восстановления деталей рассчитывают различными методами, в том числе опытно-экспериментальным и опытно-статистическим. Допускается определение нормы расхода материалов по типовым технологическим процессам или литературным источникам, путем их пересчета к конкретной детали. Нормы расхода материалов сводят в таблицу.

Для примера в табл. 3.1 даны нормы расхода порошковых материалов, необходимых для устранения различных дефектов распределительного вала двигателя СМД – 62 газопламенным напылением.

Таблица 3.1

Нормы расхода порошковых материалов при восстановлении распределительного вала двигателя СМД – 62 газопламенным напылением

Наименование дефекта	Марка порошка	Норма расхода на 1 деталь, кг
Износ поверхностей опорных шеек	ПТ-НА-01 (подслой)	0,03
	ПГ-19М-01 (основной слой)	0,09
Износ поверхностей кулачков	ПГ-10Н-01	0,6

4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Выбор технологического оборудования во многом зависит от типа производства. В условиях единичного производства используют универсальные станки, а при серийном производстве применяют универсальные станки, станки с ЧПУ. В условиях массового производства используют специальное технологическое оборудование

При проектировании технологических процессов выбор станка производят по следующим показателям:

- типу производства, размеру партии обрабатываемых деталей;
- виду обработки (токарная, фрезерная, сверлильная и т. п.);
- требованиям к точности, шероховатости и экономичности обработки;
- площади рабочей зоны станка, габаритные размеры детали, расположение обрабатываемых поверхностей;
- габаритным размерам станка (высота и расстояние между центрами, размеры стола);
- точности и жесткости станка;
- частоте вращения шпинделя;
- скорости подачи;
- мощности станка;

Выбор технологической оснастки производится на основе анализа возможности реализации технологического процесса при выполнении технических требований к детали, технических возможностей оснастки, а также конструктивных характеристик детали и восстанавливаемых поверхностей и др.

Выбор оборудования и технологической оснастки производится по специальным каталогам или справочникам [1, 4, 5, 8]. Технические характеристики некоторых установок для наплавки деталей даны в прил. 6.

Например,

1. Наплавочная, наплавлять поверхность 3. Станок – сварочный полуавтомат НДГ-312УЗ. Патрон трехкулачковый 7100-0009, ГОСТ 2675-80 центр вращающийся, ГОСТ 8742-75, штангенциркуль ШЦ-II-160-0,02, ГОСТ 166-80, наплавочная проволока Св-08А, флюс 7И-348-В.
2. Токарная, точить поверхность 2. Станок токарно-винторезный 1Л62, патрон трехкулачновый 7100-0009 ГОСТ 2675-80, центр вращающийся, ГОСТ 8742-75, штангенциркуль ШЦ-II-160-002 ГОСТ 166-80.
3. Фрезерная, фрезеровать шпоночный паз, поверхность 3. Станок вертикально фрезерный 6Б12ПБ, патрон цанговый 6151-0003, ГОСТ 3025-75, тиски 7827-0259, ГОСТ 4045-75, фреза концевая 2252-0152 Р18, ГОСТ 7063-75. Штангенциркуль ШЦ-II-160-002, ГОСТ 166-80.

После выбора оборудования и оснастки для проектируемого технологического процесса восстановления детали заполняют ведомость и приводят техническую характеристику. Пример ведомости оборудования и оснастки по

технологическому процессу восстановления деталей типа "вал" газопламенным напылением порошковых материалов дан в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Ведомость оборудования и оснастки для восстановления деталей типа "вал" газопламенным напылением порошковых материалов

Наименование оборудования и оснастки	Обозначение
Аппарат для напыления	021-4 ВНПО "Ремдеталь"
Вращатель	011-1-09 "Ремдеталь"
Установка для струйной обработки деталей	026-7 "Ремдеталь"
Станки токарные и круглошлифовальные	3В1161, 3А151, 3Б12, 3А423
Печь для сушки порошка	ТХ8-1479
Набор сит с сетками	N-01, N 004, №-0071
Стол сварщика	Мод. С 10020 "Ремдеталь"
Стеллаж	ОРГ-1468-06-92А

Основной задачей, стоящей перед студентом при выборе моделей станков, является достижение наивысшей производительности, заданной точности деталей, наименьшей себестоимости их обработки. При этом необходимо помнить, что разные станки дают различную точность обработки. Нельзя, например, получить на обычном токарном станке при обработке резцом валик с допуском 0,01 мм по диаметру. В то же время эту точность легко получить на шлифовальном станке.

С целью экономного расходования электроэнергии обработку небольших деталей следует планировать на станках меньших размеров, имеющих соответственно менее мощные электродвигатели.

Выбор технологической оснастки. К технологической оснастке относятся станочные приспособления, вспомогательный, режущий, слесарный инструмент и средства контроля.

В зависимости от выбранного типа производства определяют систему приспособлений, рекомендуемую для применения в данных условиях.

Универсальные многоцелевые, широко переналаживаемые приспособления выбираются по справочной литературе, например [8]. При этом необходимо учитывать размеры посадочных мест приспособлений, чтобы они подходили к выбранным моделям станков, а также возможности соответствующих приспособлений, позволяющие устанавливать в них детали, для которых разрабатывается технологический процесс.

В зависимости от вида обработки, свойств обрабатываемого материала, точности обработки и качества обрабатываемой поверхности детали выбирают тип, конструкцию и размеры режущего инструмента, например: «Резец проходной Т5К10». При выборе резцов указывают сечение державки и геометрические параметры режущей части. Материал режущего инструмента выбирают в зависимости от вида обработки, материала и твердости детали [4, 8].

Выбор абразивного инструмента производится с учетом того, что для обработки сталей используются круги из электрокорунда, а для чугунов и цвет-

ных металлов из карбида кремния. Конкретные рекомендации по выбору абразивных инструментов можно найти в [4, 8]. Выбор шлифовального круга производится в зависимости от вида обработки поверхности, твердости и материала обрабатываемой детали.

Например, резец токарный проходной упорный отогнутый с углом 90° с пластинами из твердого сплава Т15К6.

h = 20 мм; l = 120 мм; B = 16мм; r = 1мм;
Круг шлифовальный ПВК 23А 32П С1 К1 35м/с.
$D_к$ = 600мм; $B_к$ = 63 мм; ГОСТ2424-84

Вспомогательный инструмент предназначен для закрепления режущего инструмента в соответствующих посадочных местах металлорежущих станков. Он должен иметь, с одной стороны, посадочные поверхности и элементы крепления, соответствующие режущему инструменту, а с другой установочные поверхности и элементы крепления, соответствующие посадочным местам станков.

Если применяются специальные приспособления (неразборные специальные приспособления – НСП), то следует иметь в виду, что такие приспособления необходимо проектировать самостоятельно в соответствии с существующими методиками. Специализированные, стандартные системы приспособлений могут быть следующих видов: универсально-сборные приспособления (УСП), сборно-разборные (СРП), универсальные наладочные (УНП), специализированные наладочные (СНП).

При разработке технологического процесса восстановления детали необходимо выбрать те приспособления и инструменты, которые способствуют повышению производительности труда, точности обработки, улучшению условий труда, ликвидации предварительной разметки детали и выверке ее при установке на станке.

5. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Принятые режимы операций (особенно нанесение покрытий) существенно влияют на ресурс восстановленных деталей. Поэтому они должны обеспечивать выполнение технических требований к детали, изложенных на ремонтном чертеже. Параметры режимов нанесения покрытий различными способами приведены в справочной и технической литературе [1–3, 6, 11].

Режим обработки определяют отдельно для каждой операции с разбивкой ее на переходы.

5.1. Наплавка

Наплавка на деталь металла позволяет не только восстановить первоначальные свойства изделия, но и придать ему совершенно новые ценные качества. Цель наплавки может быть различной: восстановление утраченной геометрии детали или придание ей новой формы, образование поверхностного слоя с заданными физико-механическими свойствами (такими как повышенная твердость, износостойкость, антифрикционность, коррозионная стойкость, жаростойкость и пр.), упрочнение наплавкой.

Наплавку можно производить на любые поверхности - плоские, конические, цилиндрические, сферические. В больших пределах может меняться и ее толщина - от нескольких долей миллиметра до сантиметра и более.

5.1.1. Дуговая наплавка под флюсом и в среде защитных газов

Дуговая наплавка под флюсом и в среде защитных газов является наиболее распространенным способом восстановления деталей в ремонтном производстве не только в России, но и за рубежом. Марка флюса и проволоки определяется требованиями, предъявляемыми к наплавленному слою. Детали из малоуглеродистых и низколегированных сталей наплавляют проволокой диаметром 1,2 – 1,5 мм марок Св-0,8, Св-10А, Нп-30, Нп-40 и др., а из легированных сталей – марок Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА, порошковыми проволоками марок ПП-3Х2В8, ПП-Х42ВФ и др. Высокую износостойкость наплавленного слоя можно получить наплавкой проволоки Нп-2Х13.

Для наплавки применяют плавящиеся марганцовистые флюсы марок АН-318А и ОСЦ-45, с помощью которых наплавляемый слой легируется марганцем, повышающим его твердость, вязкость и износостойкость. Наплавкой проволокой Св-08 под керамическим флюсом АНК-19 можно получить твердость наплавленной поверхности HRC 45–49.

Наплавка под слоем флюса широко применяются при восстановлении валов, осей и других деталей диаметром более 50 мм, имеющих износ более 1-1,5 мм на сторону. Наплавка деталей диаметром до 50 мм затруднена из-за стекания металла, осыпания флюса, возможности прижога и коробления.

Отличительной особенностью процесса автоматической сварки под флюсом является то, что сварочная дуга горит не на открытом воздухе, а под слоем зернистого сыпучего флюса. Электродная проволока подаётся вниз в зону наплавки со скоростью её плавления, плавится и переходит на деталь в виде отдельных капель.

Расплавленный флюс образует плотную эластичную оболочку – флюсогазовый пузырь, поверх которого находится слой жидкого шлака.

Процесс широко применяется для восстановления цилиндрических поверхностей деталей. Режимы наплавки характеризуются силой тока, напряжением, скоростью наплавки, скоростью подачи проволоки, шагом наплавки, вылетом и смещением электрода. Силу тока при наплавке определяют в зависимости от диаметра детали (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Зависимость тока при наплавке от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока, А	
	при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2–1,6	2–2,5
50–60	120–140	140–160
65–75	150–170	180–220
80–100	180–200	230–280
150–200	230–250	300–350
250–300	270–300	350-380

Основные параметры режимов наплавки определяют по следующим формулам:

скорость наплавки, м/ч

$$V_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I}{h \cdot s \cdot \gamma}, \qquad (5.1)$$

частота вращения детали, об/мин

$$n_{\text{д}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{н}}}{60 \cdot \pi \cdot d}, \qquad (5.2)$$

скорость подачи проволоки, м/ч

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{Н}} \cdot I}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \gamma}, \qquad (5.3)$$

шаг наплавки, мм / об

$$S = (2 - 2{,}5) \cdot d_{\text{пр}}, \qquad (5.4)$$

вылет электрода, мм

$$\delta = (10 - 12) \cdot d_{\text{пр}}, \qquad (5.5)$$

смещение электрода, мм

$$l = (0{,}05 - 0{,}07) \cdot d, \qquad (5.6)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, г/А·ч (при наплавке постоянным током обратной полярности $\alpha_{\text{н}} = 11 – 14$); h – толщина наплавленного слоя, мм; γ – плотность электродной проволоки, г/см^3 ($\gamma = 7{,}85$); $d_{\text{пр}}$ – диаметр электродной проволоки, мм; I – сила тока, А; d – диаметр детали, мм.

Ориентировочные параметры режимов наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей даны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Режимы наплавки цилиндрических деталей (толщина слоя 1,0 – 1,2 мм)

Параметр	Диаметр детали, мм			
	10 ... 20	20 ... 30	40 ... 50	90 ... 100
Сила тока, А	70 ... 90	85 ... 110	110 ... 180	100 ... 300
Скорость наплавки, м/ч	40 ... 45	40 ... 45	30 ... 35	70 ... 80
Смещение электрода, мм	2 ... 4	3 ... 5	6 ... 10	8 ... 10
Шаг наплавки, мм/об	2,5 ... 3,0	2,8 ... 3,2	3,0 ... 3,5	5,0 ... 7,0
Вылет электрода, мм	7 ... 10	8 ... 11	10 ... 15	20 ... 27

5.1.2. Вибродуговая наплавка

Вибродуговой наплавкой восстанавливают большую номенклатуру деталей типа “вал” и другие. Параметры режима нанесения покрытий определяют по следующим формулам:
сила тока, А

$$I = \frac{\pi \cdot d_{\text{пр}}^{\,2}}{4 \cdot (60...75)}, \tag{5.7}$$

скорость подачи электродной проволоки, м/ч

$$V_{\text{пр}} = \frac{0{,}1 \cdot I \cdot U}{d_{\text{пр}}^{\,2}}, \tag{5.8}$$

где $d_{\text{пр}}$ – диаметр проволоки, мм; U– напряжение, В (U = 14...20 В);
скорость наплавки, м / ч

$$V_{\text{Н}} = \frac{0{,}785 \cdot d_{\text{пр}}^{\,2} \cdot V \cdot \eta}{h \cdot S \cdot \alpha}, \tag{5.9}$$

где η – коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл (η = 0,8 ... 0,9); h – толщина наплавленного слоя (без механической обработки) мм; S – шаг наплавки, мм/об; α – коэффициент, учитывающий отклонения фактической площади сечения наплавленного слоя от площади четырехугольника с высотой h (α = 0,8);
шаг наплавки, мм/об

$$S = (1{,}6...2{,}2)d_{\text{пр}}, \tag{5.10}$$

амплитуда колебаний

$$A = (0{,}75...1{,}0)d_{\text{пр}}. \tag{5.11}$$

5.1.3. Плазменная наплавка

При плазменной наплавке расчет таких параметров режима, как скорость, частота вращения, толщина покрытий рекомендуется выполнять по формулам, принятым для расчета режима наплавки под слоем флюса.

Наибольшее применение для плазменной наплавки деталей получили сормайт, сплавы ФБХ–9–2, Ус–25, ПГ–СР3 и СНГН–50. Технологические режимы плазменной наплавки деталей при работе с аргоном следующие: сила тока 150 – 200 А; напряжение холостого хода 120 – 160 В, рабочее напряжение 40 – 45 В; расход плазмообразующего газа 1,5 – 2,5 л/мин, расход транспортирующего газа 5 – 7 л/мин. Расход защитного газа 15 – 20 л/мин; скорость наплавки 0,15 – 0,18 м/мин, расстояние от горелки до детали 10 – 18 мм; число колебаний горелки в минуту 40 – 100.

Рациональное значение силы тока при плазменной наплавке находится в пределах 200 – 230 А. Коэффициент наплавки $\alpha_н$ = 10 – 13 г/А·ч.

Расход порошка определяется по формуле

$$Q = 0{,}1 \cdot V_н \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K_П , \qquad (5.12)$$

где Q – расход порошка, г/с; S – шаг наплавки, мм/об (S = 0,4 – 0,5); h – толщина наплавленного слоя, мм; γ – плотность наплавленного металла, г/см^3. Для порошковых твердых сплавов на железной основе γ = 7,4; для сплавов на никелевой основе – γ = 0,8; $K_п$ – коэффициент, учитывающий потери порошка, $K_п$ = 1,12 – 1,17

5.2. Наварка ленты и проволоки

Часто применение металлизации не оправдано из-за слишком большого размера пятна напыления, из-за чего невозможно восстанавливать узкие шатунные шейки. В этих случаях применяется наварка ленты и проволоки. Процесс контактной наварки ленты производится на специальных установках совместным деформированием навариваемого металла и поверхностного металла, нагретых в очаге деформации до пластического состояния короткими (0,02 – 0,16 с) импульсами тока 7 – 30 мА. Образуемые при этом сварочные точки располагаются по винтовой линии и частично перекрывают друг друга, что достигается вращением детали со скоростью, пропорциональной частоте импульсов, и продольным перемещением сварочных клещей.

Наибольшее распространение контактная наварка проволоки нашла для восстановления резьбовых участков валов. Диаметр проволоки подбирают таким, чтобы при наварке она полностью заполнила впадину резьбы и выступала на величину припуска, необходимого для последующей обработки. Учитывая износ витков резьбы, продольную подачу сварочных клещей принимают равной шагу резьбы.

Частота вращения детали, продольная подача сварочных клещей и частота следования импульсов являются важными параметрами процесса, определяющими его производительность. Соотношение этих величин подбирают так, чтобы обеспечить 6 или 7 сварочных точек на 1 см длины сварного шва. Режимы приварки ленты приведены в табл. 5.3.

Частоту вращения детали, норму времени на наплавку рассчитывают аналогично расчету этих параметров при наплавке под слоем флюса.

Таблица 5.3

Рекомендуемые режимы приварки ленты, толщиной 1 мм

Сила сварочного тока, кА	16,1 – 18,1
Длительность сварочного цикла, с	0,04 – 0,08
Длительность паузы, с	0,1 – 0,12
Подача сварочных клещей, мм/об	3 – 4
Усилия сжатия электродов, кН	1,30 – 1,60
Ширина рабочей части сварочных роликов, мм	4
Скорость наплавки, м/мин.	3 – 4

5.3. Нанесение электролитических покрытий

Восстановление деталей электролитическими покрытиями заключается в нанесении на изношенную поверхность детали металла путем электролиза.

Толщина осажденного покрытия

$$h = \frac{cJ_k t\eta}{1000\gamma}, \qquad (5.13)$$

где $J_к = I/S$ – катодная плотность тока, А/дм^3; γ – плотность осаждаемого металла, г/см^3; c – электрохимический эквивалент, г/А·ч; η – выход по току или к. п. д. процесса, % (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Электрохимический эквивалент и выход по току или к. п. д.

Параметр	Элемент					
	Fe	Cr	Ni	Cu, кислый электролит	Cu, цианистый электролит	Zn
Электрохимический эквивалент, г/А·ч	1,042	0,324	1,095	1,186	2,372	1,220
Выход по току или к. п. д., %	85-95	13-18	90	98	98	92

Электрохимическим эквивалентом называется количество вещества в граммах, выделившегося на катоде за 1 А·ч.

По приведенной формуле можно определить продолжительность электролиза при заданной толщине покрытия. Придание анодам формы, соответствующей форме детали, способствует более равномерному распределению осадка, так как при этом расстояние участков катодов (деталей) от анода получается более равномерным.

5.3.1. Хромирование

Для восстановления деталей широкое распространение получило хромирование. Хромированием восстанавливают детали с износом до 0,3 мм на сторону, работающие при значительных удельных давлениях, больших скоростях

скольжения, поверхности которых должны обладать высокой твердостью, термокоррозионной и износостойкостью.

В качестве анода при хромировании применяют нерастворимый в электролите сплав свинца и сурьмы (5 – 10 %). Площадь анодов должна быть в 1,5 – 2 раза больше площади катода, а форма должна повторять форму детали, что повышает равномерность покрытия. Требуемое расположение анодов в ванне относительно катодов обеспечивается с помощью подвесных приспособлений.

При хромировании используют различные электролиты (табл. 5.5). Время хромирования 90–380 мин.

Таблица 5.5

Состав электролитов и режимы хромирования

Компоненты и параметры режима	Номер электролита				
	1	2	3	4	5
Хромовый ангидрид, г/л	120 … 150	220 … 250	300 … 350	225 … 300	380 … 420
Серная кислота, г/л	1,2 … 1,5	2,2 … 2,5	3 … 3,5	–	–
Температура электролита, °С	50 … 60	45 … 60	40 … 50	50 … 65	18 … 25
Плотность тока, А/дм^2	30 … 100	20 … 60	15 … 30	40 … 100	100 … 300
Выход по току, %	15 … 18	12 … 14	8 … 10	18 … 20	35 … 40

После нанесения слоя хрома поверхность подвергают шлифованию и полировке.

5.3.2. Осталивание

Для восстановления деталей широкое распространение получило осталивание (железнение). При осталивании применяют аноды из малоуглеродистой стали толщиной 5 – 9 мм, материал которых постепенно переносится на поверхность детали. Осталиванием восстанавливают отверстия в корпусных деталях, шейки валов агрегатов трансмиссий, валики приводов насосов, шкивы, катки, кронштейны, ступицы, чугунные втулки и другие детали с износом до 3 мм на сторону.

Процесс осталивания по сравнению с хромированием имеет более высокую производительность. Он дает возможность получать покрытия толщиной до 3 мм, не требует дефицитных химических реактивов. Выход по току в этом процессе равен 85-95 %, скорость осаждения 0,3 – 0,6 мм/ч, расход электроэнергии - 1,5 кВт-ч/дм^2. Предел прочности осажденного покрытия составляет 350–450 МПа, пластичность 5-10 %, твердость НВ 100–240 (в зависимости от состава электролита и условий электролиза). Твердость осадков при осталивании увеличивается при снижении концентрации солей в электролите, росте плотности тока, понижении температуры, введении в электролиты различных органических и минеральных добавок.

Процесс осталивания осуществляется в водных растворах хлорида или сульфата железа (табл. 5.6). Растворимые аноды изготовляют из малоуглеродистой стали.

Таблица 5.6

Состав распространенных электролитов и режимы осталивания

Компоненты и параметры режима	Номер электролита		
	1	2	3
Хлористое железо, г/л	300 ... 350	400 ... 600	150 ... 200
Сернокислое железо, г/л	–	–	200
Аскорбиновая кислота, г/л	–	0,5 ... 2,0	–
Кислотность, pH	0,8 ... 1,2	0,5 ... 1,3	0,6 ... 1,2
Температура электролита, °С	70 ... 80	20 ... 50	30 ... 50
Плотность тока, А/дм^2	20 ... 50	10 ... 30	20 ... 25
Выход по току, %	85 ... 95	85 ... 92	85 ... 92

К недостаткам способа осталивания относятся: сравнительно слабое сцепление наносимого слоя с основным металлом и малая твердость осажденного слоя без термической обработки.

5.4. Механическая обработка

5.4.1. Особенности режимов механической обработки

Процесс восстановления деталей может быть условно разделен на два этапа. На первом этапе восстанавливают геометрические размеры детали различными способами, среди которых наибольшее применение нашли способы, основанные на нанесении на изношенную поверхность покрытий. На втором этапе проводят последующую механическую обработку нанесенных покрытий.

Механическая обработка при восстановлении деталей имеет специфические особенности. После механической обработки поверхности детали должны иметь не только заданные размеры, правильную геометрическую форму, требуемую шероховатость, но и соответствующее расположение обработанных поверхностей относительно базовых поверхностей и по отношению друг к другу.

Выбор баз при восстановлении осложняется тем, что обработке подвергается не заготовка с соответствующими припусками, а деталь с неравномерно изношенными поверхностями и остаточными деформациями.

Технологические базы деталей, установленные в процессе изготовления, в большинстве своем сохраняются. Однако в ряде случаев они могут быть повреждены, а в некоторых случаях и вовсе отсутствовать. При базировании деталей на изношенные или повреждённые базовые поверхности погрешности установки детали возрастают, что не позволяет обеспечить требуемую точность обработки. Поэтому механическую обработку деталей надо начинать с проверки и исправления базовых поверхностей. Если необходимо использовать рабочие поверхности детали в качестве базовых, то выбирают те из них, которые не изношены. В том случае, когда первоначальные базы вообще отсутствуют, об-

работку начинают или с восстановления баз, или, если это возможно, выбирают такие поверхности, которые имеют наиболее точные размеры и связаны жёсткими допусками с обрабатываемой поверхностью.

При выборе баз для обработки восстанавливаемых деталей необходимо руководствоваться следующими правилами:

- принимать в качестве базовых те поверхности, которыми определяется положение детали в узле;
- базовые поверхности должны быть связаны наиболее жёсткими допусками с обрабатываемыми поверхностями деталей;
- при обработке нескольких поверхностей необходимо стремиться к соблюдению единства баз, т. е. к обработке всех поверхностей при одной и той же установочной базе;
- выбранная база должна обеспечить минимальную деформацию детали от условий резания и закрепления.

5.4.2. Обработка под ремонтный размер

При восстановлении деталей обработкой под ремонтный размер обычно обрабатывают наиболее сложную и дорогостоящую деталь, а сопрягаемую с ней заменяют новой или восстановленной также до ремонтного размера. Различают ремонтные размеры категорийные (регламентированные) и нерегламентированные. Регламентированные ремонтные размеры и допуски на них устанавливает предприятие-изготовитель. Детали с регламентированными размерами выпускает промышленность: поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, вкладыши подшипников шеек коленвала. Значение и число регламентированных ремонтных размеров зависят от износа деталей за межремонтный период, припуска на механическую обработку, запаса прочности детали или глубины термической обработки ее поверхностного слоя.

Расчетные формулы для определения ремонтных размеров для наружных и внутренних цилиндрических поверхностей (валов и отверстий) имеют вид [6 – 8, 12, 17, 18]:

$$d_{\text{рп}} = D_{\text{н}} - \gamma\, n;$$
$$D_{\text{рп}} = D_{\text{н}} + \gamma\, n, \qquad (5.14)$$

где $d_{\text{н}}$ и $D_{\text{н}}$ – соответственно номинальный размер вала и отверстия по рабочему чертежу, мм; n – номер ремонтного размера; γ – ремонтный интервал, мм;

$$\gamma = 2\,(U \cdot \beta + Z_{\text{о}}),$$

где $\beta = (0{,}5\text{-}1{,}0)$ – коэффициент неравномерности износа (табл. 5.7); U – максимальный износ на диаметр, мм; $Z_{\text{о}}$ – общий припуск на механическую обработку на сторону, мм.

Число ремонтных размеров определяют по следующим формулам:

- для валов

$$n_{\text{в}} = \Delta_d / \gamma,$$

- для отверстий

$$n_o = \Delta_D / \gamma \,, \qquad (5.15)$$

где Δ_d и Δ_D – соответственно допустимое уменьшение диаметра вала и увеличение диаметра отверстия, мм:

$$\Delta_d = d_н - d_{min};$$
$$\Delta_D = D_{max} - D_н, \qquad (5.16)$$

где d_{min} – минимально допустимый диаметр вала, мм; D_{max} – максимально допустимый диаметр отверстия, мм.

Для определения величины ремонтного размера при обработке восстанавливаемой детали можно использовать следующие зависимости:

- для наружной цилиндрической поверхности (вала)

$$d_Р \le d_и - \gamma, \qquad (5.17)$$

- для внутренней цилиндрической поверхности (отверстия)

$$D_р \ge D_и + \gamma, \qquad (5.18)$$

где $d_и$, $D_и$ – наибольший предельный размер вала и наименьший размер отверстия, мм. В частном случае, если деталь не подвергалась восстановлению («новая»), то $d_и = d_н$, $D_и = D_н$.

Таблица 5.7

Коэффициент β неравномерности износа деталей

Деталь	Изнашиваемая поверхность	Коэффициент β
Коленчатый вал	Коренные и шатунные шейки	0,75
Гильза цилиндров	Отверстие гильзы	0,60
Картер коробки передач	Посадочные гнезда подшипников	0,90

Пример 12

Определить ремонтный размер коренных шеек коленчатого вала двигателя автомобиля при следующих исходных данных: $d_и$ = 75,0 мм; β = 0,75; U = 0,03 мм.

Припуск на шлифование шеек коленчатого вала при ремонте примем 0,05 мм [1, 5].

Ремонтный интервал

$$\gamma = 2 \cdot (0{,}75 \cdot 0{,}03 + 0{,}05) = 0{,}15 \text{ мм}.$$

Ремонтный размер

$$d_р \le d_и - \gamma \,;$$
$$d_р = 75{,}0 - 0{,}15 = 74{,}85 \text{ мм}.$$

Первый и второй категорийные ремонтные размеры коренных шеек коленвала двигателя составляют $74{,}95_{-0{,}02}$ и $74{,}7_{-0{,}02}$ мм соответственно. Первый размер превышает значение $d_Р$, поэтому обработать коленвал под этот регламентированный размер невозможно, следовательно, коленвал целесообразно обрабатывать под второй регламентированный ремонтный размер, равный $74{,}7_{-0{,}02}$ мм.

Толщину слоя металла, наносимого на поверхность восстанавливаемых деталей, рассчитывают по формуле:

$$t_{тр} \ge \Delta + Z_o \,,$$

где Δ – износ детали (односторонний), т. е. $U/2$, мм.

5.4.3. Постановка дополнительной детали

При ремонте постановкой дополнительной детали посадочный диаметр ($d_п$) сопрягаемых поверхностей ремонтируемой и дополнительной детали определяется:

- при ремонте наружной цилиндрической поверхности детали (вала)

$$d_п = d_ф - 2Z; \quad (5.19)$$

- при ремонте внутренней цилиндрической поверхности (отверстия)

$$d_п = D_ф + 2Z, \quad (5.20)$$

где $d_ф$ и $D_ф$ – фактические размеры вала и отверстия соответственно, мм; Z – суммарный припуск (см. табл. П 4.3). Минимально допустимую толщину дополнительной ремонтной детали (втулки) определяют из условия прочности

$$\delta_1 = \frac{p n_з d_п}{2[\sigma]}, \quad (5.21)$$

где p – давление в контакте поверхностей ремонтируемой и дополнительной детали, Па; δ_1 – минимальная толщина дополнительной ремонтной детали (втулки), мм; [σ] – допускаемое напряжение для материала втулки, Па [4]:

$$n_з = \sigma_т / [\sigma], \quad (5.22)$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала втулки, Па [4].

Толщину втулки δ рассчитывают исходя из ее минимально допустимой толщины δ_1 и величины припуска на обработку z_o:

$$\delta = \delta_1 + z_o . \quad (5.23)$$

Припуск на обработку поверхностей ремонтируемых деталей может быть назначен по справочным таблицам.

Значение p определяется из уравнения

$$p = \frac{2M}{\pi \cdot d_п^2 \cdot l \cdot f}, \quad (5.24)$$

где M – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м; l – длина контакта сопрягаемых поверхностей, м; f – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания (табл. П5.2). Принимать $M = 40$ Н·м.

По полученным значениям p определяется необходимое значение наименьшего расчетного натяга N_{min} (мкм):

$$N_{min} = p d_п \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (5.25)$$

где N_{min} – расчетный натяг; E_1 и E_2 – модули упругости материалов соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, Па, (табл. П5.3); C_1 и C_2 – коэффициенты Ляме, определяемые по формулам

$$C_1 = \frac{d_n^2 + d_1^2}{d_n^2 - d_1^2} - \mu_1 ; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d_n^2}{d_2^2 - d_n^2} + \mu_2 , \quad (5.26)$$

где μ_1 и μ_2 коэффициенты Пуассона соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, (табл. П5.3).

Максимальное допустимое удельное давление P_{max}, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях деталей, определяется как наименьшее из двух значений

$$P_1 = 0{,}58\sigma_{T1}\left[1-\left(\frac{d_1}{d_п}\right)^2\right], \qquad P_2 = 0{,}58\sigma_{T2}\left[1-\left(\frac{d_п}{d_2}\right)^2\right], \tag{5.27}$$

где $\sigma_{т1}$ и $\sigma_{т2}$ – предел текучести материалов охватываемой и охватывающей деталей.

Наибольший расчетный натяг (мм):

$$N_{max} = P_{max} d_п \left(\frac{C_1}{E_1}+\frac{C_2}{E_2}\right). \tag{5.28}$$

При сборке соединения неровности контактных поверхностей деталей срезаются и сглаживаются; для компенсации этого действительный натяг соединения $N_д$ должен быть больше расчетного натяга N, вычисляемого по формуле (5.28). Зависимость между $N_д$ и N_{max} определяется формулой

$$N_д = N_{max} + 1{,}2(Rz_1 + Rz_2), \tag{5.29}$$

где Rz_1 и Rz_2 – высоты неровностей профилей сопрягаемых поверхностей.

По величине $N_д$ подбирают соответствующую стандартную посадку, у которой для надежности соединения наименьший натяг N_{min} должен быть равен $N_д$ или очень близок к нему [13]. Выбирается посадка из таблиц системы допусков и посадок при следующих условиях: $N_{max} \le [N_{max}]$ и $N_{min} > [N_{min}]$.

Необходимое усилие при запрессовке (F, Н) собираемых деталей рассчитывается по формуле

$$F = 10^{-6} \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot p, \tag{5.30}$$

где f – коэффициент трения при запрессовке (табл. П5.2); d – диаметр контактируемых поверхностей; l – длина запрессовки; p – давление на поверхности контакта.

Коэффициенты трения при запрессовке зависят от материала сопрягаемых деталей, чистоты поверхностей контакта, величины p_1, наличия и характера смазки.

5.4.4. Правка

Детали, у которых во время эксплуатации появились остаточные деформации (изгиб, коробление), подлежат правке. Существует два способа правки: статическая правка и объемной чеканкой.

Статическая правка может производиться в холодном состоянии или с нагревом.

Для повышения качества холодной правки применяют в основном следующие способы.

1. Выдерживание детали под прессом в течение длительного времени из-за опасности обратного действия (при холодной правке возникают неуравновешенные внутренние напряжения, которые со временем уравновешиваясь, приводят к объемной деформации детали).

2. Двойная правка детали заключается в первоначальном перегибе детали с последующей правкой в обратную сторону.

3. Стабилизация правки детали последующей термообработкой.

Усилие холодной правки можно определить по формуле

$$P = 6{,}8\frac{\sigma_{\text{т}} d^3}{l} \qquad (5.3)$$

где P – усилие холодной правки, Н; $\sigma_{\text{т}}$ – предел текучести материала выправляемой детали, Па; d – диаметр выправляемой детали, мм; l – расстояние между опорами или призмами правильного пресса, мм.

Горячая правка производится при необходимости больших деформаций детали. Нагрев 600 – 800 °С. После правки необходимо произвести термическую обработку детали.

Правка объемной чеканкой осуществляется с применением молотов. От наносимых ударов в поверхностном слое детали возникают местные напряжения сжатия, которые вызывают устойчивую деформацию.

6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

6.1. Особенности механической обработки восстановленных деталей

Механическая обработка деталей при ремонте является не только способом восстановления, как, например, при ремонте под ремонтный размер, но и необходимой стадией предварительной обработки для придания детали правильной геометрической формы, снятия дефектного слоя, специальной подготовки поверхности под нанесение различного рода покрытий, а также как окончательная стадия обработки восстанавливаемых деталей.

Механическая обработка ремонтных заготовок применяется для подготовки поверхностей под нанесение покрытий, обеспечения точности восстанавливаемых элементов, а также для упрочнения поверхностей. Эта обработка является основным средством достижения точности геометрических параметров деталей (их номинальных и ремонтных размеров, формы, взаимного расположения, шероховатости и волнистости поверхностей). На операции механической обработки приходится 40 – 60 % общей трудоемкости восстановления деталей.

Механическая обработка заготовок при восстановлении деталей отличается от изготовления деталей из отливок, проката или поковок. Это объясняется такими причинами: преднамеренным разрушением некоторых технологических баз в конце процесса восстановления деталей, износом или повреждением группы баз во время работы машины, деформацией деталей в эксплуатации; небольшими значениями толщины припусков, материал которых, как правило, отличается от материала основы различием в свойствах припусков при изготовлении и восстановлении деталей, требованием обеспечения необходимой точности взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при восстановлении, и поверхностей, обрабатываемых при изготовлении, а при восстановлении остающихся необработанными.

Механическая обработка восстановительно-упрочняющего покрытия включает следующие операции: черновые, чистовые и отделочные. Восстанавливаемые поверхности в зависимости от толщины и твердости сминаемого слоя проходят лезвийную и (или) абразивную обработку.

6.2. Базирование деталей

Механическая обработка в условиях ремонтного производства имеет ряд специфических особенностей – отсутствие или износ первичных технологических баз, нестабильность физико-механических свойств, например, твердости по поверхности восстанавливаемых деталей и припусков на обработку, значительная твердость и хрупкость большинства видов покрытий, широкая номенклатура обрабатываемых деталей.

Точность обработки деталей во многом зависит от правильного выбора установочных баз и применяемых приспособлений. При восстановлении деталей желательно использовать те же базы, что и при их изготовлении. Однако

ввиду их повреждения или уничтожения это условие выполнить нельзя. В этом случае установочные базы исправляют или выбирают новые. При выборе новых установочных баз необходимо исходить из условия обеспечения требований технических условий по точности, положению осей и поверхностей детали в узле, качеству обработки.

Последовательность выполнения данного раздела:

– изучить рабочий чертеж детали для выявления размеров, по которым в процессе обработки должна быть обеспечена требуемая чертежом точность;

– определить для каждого размера конструкторскую базу;

– разработать схему базирования детали, при которой конструкторская база выдерживаемого размера по возможности совмещалась бы с технологической базой;

– определить схему базирования на первой операции механической обработки (подготовка, или восстановление основных технологических баз) и на последующих операциях;

Выбор баз (технологической, конструкторской, измерительной) производится в соответствии с ГОСТ 3.1107-81 и 21495-76.

Выбор схем базирования и схем установки детали при восстановлении производится с использованием схем, приведенных в ГОСТ 21495-76 и 3.1107-81.

При выборе баз руководствуются следующими положениями:

– за технологические базы целесообразно принимать центровые отверстия валов, плоскости или (и) технологические отверстия в корпусных деталях, точные цилиндрические поверхности в дисках и втулках и т. п.;

– при восстановлении отдельных поверхностей за технологическую базу принимают основные или вспомогательные поверхности, которые сохранились и не подлежат восстановлению;

– если в процессе восстановления деталь должна быть обработана по всем основным и вспомогательным поверхностям, то за технологическую базу необходимо принять такую, от которой можно обрабатывать все основные и вспомогательные поверхности за одну установку. Если такой возможности нет, то технологической базой должна быть поверхность (или совокупность поверхностей), которая позволяет обработать с одной установки, в первую очередь, основные или вспомогательные поверхности;

– принятая технологическая база должна сохраняться на всех операциях технологического процесса, если это невозможно, то за следующую базу необходимо принимать обработанную поверхность детали, которая имеет точные размерные связи с поверхностью, обрабатываемой на последующих операциях;

– при выборе технологической базы необходимо помнить, что поверхность или совокупность поверхностей, принятых за технологические базы, должна лишить деталь минимально необходимого и в то же время достаточного числа степеней свободы. В соответствии с теорией базирования деталь должна быть лишена шести степеней свободы, в том числе и за счет обеспечения силового замыкания.

В зависимости от точности размеров на данной операции технологические базы могут быть сформированы одной, двумя или тремя поверхностями. Однако при этом нужно учитывать некоторые особенности процесса восстановления детали по сравнению с изготовлением. А именно: технологические базы деталей, установленные в процессе их изготовления, в большинстве своем сохраняются, и только в ряде случаев они бывают изношенными, или вовсе отсутствуют. При базировании деталей на изношенные поверхности погрешность базирования возрастает, что нередко не позволяет выдерживать требуемую точность обработки и относительного расположения поверхностей. Это может иметь место при всех встречающихся видах установки деталей при механической обработке. Заметим, что величина допустимого износа по техническим условиям на ремонт назначается исходя из условий возможности расширения той или иной посадки сопряжения. Базирование деталей на изношенную поверхность вызывает повышение погрешности базирования и снижение точности обработки.

Механическую обработку деталей необходимо начинать с исправления базовых поверхностей, а при использовании в качестве технологических баз рабочих поверхностей деталей следует использовать неизношенные участки.

При исправлении базовых поверхностей в качестве баз можно использовать другие базы, связанные с исправляемой базой точными размерами и техническими требованиями.

В качестве технологических баз могут быть приняты вспомогательные базы, например центровые отверстия коленчатых, распределительных и других валов, привалочные плоскости и установочные отверстия корпусных деталей и т. п.

Таким образом, выбор технологических баз, схем базирования и установки должен быть обоснован с точки зрения обеспечения минимальной погрешности установки и качества отремонтированной детали. Следует помнить, что погрешность установки складывается из погрешности базирования и погрешности закрепления.

Целесообразно рассмотреть несколько вариантов схем установки и принять те, которые отвечают требуемым техническим условиям. Выбор схемы установки детали при механической обработке выполняется в пояснительной записке и служит исходной информацией при формировании технологического маршрута восстановления детали и разработке технологических схем наладки оборудования.

6.3. Обработка наплавленных поверхностей

Поверхности деталей, восстановленные наплавкой, обладают по сечению неоднородными физико-механическими свойствами, химическим составом и микроструктурой. Механические свойства наплавленного слоя (прочность, твердость и др.) зачастую значительно выше, чем у материала самой детали. К особенностям наплавленных деталей также относятся микронеровности наплавки, неметаллические включения и пористость наружного слоя. Толщина

наносимого покрытия значительно больше величины износа. Так, для компенсации износа 0,2 – 0,5 мм наплавляют слой до 1,0 – 1,2 мм. Эти факторы оказывают значительное влияние на технологию и трудоемкость обработки резанием наплавленных на детали слоев.

Выбор вида обработки наплавленных поверхностей зависит от их твердости и хрупкости, припуска для удаления дефектного слоя, производительности процессов, требуемой точности. Предварительная обработка деталей после наплавки, как правило, выполняется резцами с пластинами из твердого сплава Т5К10 и Т15К6.

Для чернового точения поверхностей, наплавленных проволокой 30ХГСА, 65Г, электродом ЭН60М и другими проволоками, с твердостью 46 – 61,5 HRC, рекомендуется инструмент из мелкозернистых твердых сплавов ВК3М и ВК6М. Обязательным условием для черновой обработки является применение резцов с отрицательными передними углами, обеспечивающими повышенную прочность рабочей части резца при точении «по корке».

Для чистовой обработки наплавленных деталей с повышенной твердостью рекомендуется инструмент из эльбора-Р и гексанита-Р.

6.4. Обработка деталей с газотермическими покрытиями

Чтобы увеличить прочность сцепления газотермических покрытий с основным металлом, перед напылением проводят предварительную механическую обработку детали на токарных станках, которая заключается в нарезании рваной резьбы, кольцевых канавок, косой сетчатой накатки поверхности. Режим обработки и выбор материала инструмента зависят от материала и габаритов детали и от требуемой шероховатости поверхности.

Детали с напыленными покрытиями подвергают различным видам механической обработки – точению, шлифованию, сверлению, строганию, хонингованию, а также слесарной опиловке, шабровке, анодно-механической и элёктроискровой обработке. Механическая обработка металлических покрытий может осуществляться не только в результате съема материала, но и методами пластической деформации – обкаткой роликом, обработкой металлическими щетками, дробью и т. п. Однако своеобразие структуры напыленных покрытий, сложенных из отдельных частиц, обладающих пониженными когезионной прочностью и теплопроводностью и содержащих при напылении на воздухе включения оксидов и нитридов, требует выбора наиболее целесообразного вида инструмента и использования специальных режимов обработки.

6.5. Обработка синтетических материалов

Перед обработкой под номинальный размер, выполняемой после нанесения покрытия, для точного центрирования и базирования детали в станке необходимо проверить центровые отверстия и базы, удалить случайные наплывы пластмассы, не повредив металлическую основу. Нанесение покрытий всегда целесообразно выполнять таким образом, чтобы центровые отверстия остава-

лись совершенно чистыми. Если они находятся вблизи покрываемых поверхностей, то их следует прикрывать. С края поверхности, покрытой пластмассовым слоем, который при сборке должен соответствовать точной посадке детали, в процессе доводки до номинального размера (вала и отверстия) должна быть снята фаска 30 х 3 или 30 х 5 мм для предупреждения перекосов при сборке.

Режим обработки резанием термопластов (в том числе покрытий из полиамида) зависит от температуры плавления материала. Параметры заточки режущего инструмента и скорость резания отличаются от условий, характерных для металлов. Общее правило – режущий инструмент должен контактировать с обрабатываемым материалом на возможно меньшей поверхности и возможно меньшее время.

Величины припусков на механическую обработку одной и той же детали, восстановленной различными способами, могут значительно отличаться. При обработке поверхностей деталей, восстановленных хромированием, припуск на обработку составляет 0,05 - 0,07 мм на сторону. Наплавленная поверхность детали может иметь неровности, поры, раковины, окислы и шлаковые включения, поэтому припуски на обработку назначаются несколько большими, чем обычно: для деталей диаметром до 50 мм припуск принимают до 3 мм, а для деталей диаметром от 50 мм и более величина припуска составляет 3 ÷ 5 мм.

6.6. Обработка деталей с электрохимическими покрытиями

Детали с электрохимическими покрытиями подвергаются (при необходимости) только чистовой обработке.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ВРЕМЕНИ

Нормирование труда это определение его необходимых затрат на изготовление единицы продукции в конкретных организационно технических условиях. Целью нормирования труда является наиболее точное определение необходимых затрат. ,

7.1. Наплавка

Норма времени при восстановлении деталей способом вибродуговой наплавки и наплавки под слоем флюса определяется из выражения

$$T_{\text{н}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{доп}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \qquad (7.1)$$

где $T_{\text{о}}$ – основное время, мин; $T_{\text{в}}$ – вспомогательное время, мин; $T_{\text{доп}}$ – дополнительное время, мин; $T_{\text{пз}}$ – подготовительно-заключительное время, мин; $n_{\text{шт}}$ – количество деталей в партии, шт.

Основное время – это время, в течение которого происходит наращивание слоя металла заданной толщины на изношенные поверхности детали или его удаление в процессе механической обработки детали.

Вспомогательное время – это время выполнения комплекса подготовительных и заключительных (вспомогательных) переходов (операций).

Сумма основного и вспомогательного времени называется оперативным временем, т. е.

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}}, \qquad (7.2)$$

Дополнительное время – это время обслуживания рабочего места. Оно затрачивается на подготовку сварочной проволоки, замену мундштуков, очистку наконечника и уход за станком, за рабочим местом и поддержание его в надлежащем состоянии в течение рабочей смены, на отдых, личные надобности и производственную гимнастику. Оно берется в процентах от оперативного времени и определяется по формуле

$$T_{\text{доп}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot K}{100}, \qquad (7.3)$$

где K – отношение дополнительного времени к оперативному в процентах ($K = 0{,}1 \div 0{,}14$).

Подготовительно-заключительное время – это время, затрачиваемое на получение, ознакомление и сдачу работы, на подготовку оборудования и оснастки, на оформление документации на партию одноименных деталей.

Основное время подсчитывается по формуле, мин

$$T_{\text{о}} = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot V_{\text{н}} \cdot S}, \qquad (7.4)$$

где L – длина наплавляемой поверхности с учетом захода и выхода электрода, мм; $V_{\text{н}}$ – скорость наплавки, м/ч; d – диаметр детали, мм; i – число ходов; S – шаг наплавки, мм/об.

Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки приводятся в табл. 7.1, а наплавки под слоем флюса – в табл. 7.2.

Таблица 7.1

Режимы вибродуговой наплавки

Толщина наплавляемого слоя, мм	Скорость подачи электрода м/мин	Сила тока, А	Скорость наплавки, м/мин	Шаг наплавки, мм/об	Припуск на механическую обработку на сторону, мм	Примечания
0,6 – 0,7	1,3	120 – 140	1,2	1,8 – 2,2	0,4	Наплавка проволокой 1,6 – 1,8 мм
1,5	1,7	160 – 190	1,0	2,3 – 2,8	0,8	
2,5 – 3,0	1,7	160 – 190	0,4	2,8 – 3,6	1	

Вспомогательное время включает в себя время на установку и снятие детали (табл. 7.3 и 7.4), и время на проход при наплавке.

Вспомогательное время на проход при наплавке обычно принимается равным 0,8 – 0,9 мин на проход для вибродуговой наплавки и 0.5 мин для наплавки под слоем флюса.

Таблица 7.2

Режимы автоматической наплавки под слоем флюса

Диаметр наплавляемой детали, мм	Величина тока, А	Скорость наплавки, м/мин	Шаг наплавки, мм/об	Высота наплавляемого слоя, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	Диаметр проволоки, мм
50 – 60	140 – 150	0,4	3	1,4 – 2,0	0,8	1,5
65 – 75	170 – 180	0,4	4	1,5	1,3	1,6
80 – 100	180 – 200	0,5	4	1,5 – 2,0	1,7	2,0
150 – 200	200 – 240	0,5	5	2,0 – 3,0	2,2	2,0
250 – 300	250 – 275	0,5	6	2,0 – 3,0	3,3	3,0

Таблица 7.3

Вспомогательное время на установку и снятие детали (наплавка), мин

Вид наплавки	Масса наплавляемой детали, кг	Время на установку и снятие детали, мин		
		в трехкулачковом патроне	в центрах	в центрах с люнетом
Вибродуговая наплавка	До 10	1,0	0,5	1,0
	свыше 10	1,5	1,0	1,5
Наплавка под слоем флюса	5	0,7	0,6	–
	10	1,0	0,8	–
	20	1,5	1,1	–
	30	2,0	1,4	–

Подготовительно-заключительное время затрачивается на получение наряда и инструктажа, установление и проверку режимов наплавки детали, на сдачу работы и уборку станка. Оно определяется по табл. 7.4.

Таблица 7.4

Подготовительно-заключительное время (наплавка), мин

Элемент работы	Время, мин		
	При простой работе	При работе средней сложности	При сложной работе
Получение производственного задания, указания, инструктажа	5	7	10
Ознакомление с работой	3	5	7
Подготовка приспособлений	–	3	5
Сдача работы	2	2	2
Итого:	10	17	24

Пример 13

Определить $T_{шт.к}$ на операцию наплавки шатунной шейки коленчатого вала двигателя КамАЗ-740.

Исходные данные: материал коленчатого вала – сталь 42ХМФА; диаметр шейки $D = 80_{-0,013}$ мм; длина шейки $b = 67^{+0,12}$ мм.

Наплавку производят проволокой Нп-30ХГСА диаметром $d = 5$ мм под слоем флюса АН-348А. Партия деталей – 40 штук.

Площадь поперечного сечения шва $F = \pi \cdot r^2$, где $r = 2,5$ мм – радиус проволоки; $F = 19,6$ мм^2.

Длина наплавленного шва $L = \pi \cdot D \cdot n$, где n – количество швов на шейке. $n = b / S$, где S – шаг наплавки, мм, равный 2 – 6 диаметрам проволоки.

При $S = 2d = 10$ количество швов $n = 7$; $L = 1758,4$ мм.

При $\gamma = 7,8$ г/см^3 $k_п = 0,9$; $d_н = 12$ г/(А ·ч); $I = 180$ А; $k_с = 1$.

$$T_о = \frac{0,06 \cdot 19,6 \cdot 1758,4 \cdot 7,8 \cdot 0,9}{12 \cdot 180} = 6,72 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время $T_в = 2,0$ мин [12], дополнительное время на обслуживание рабочего места $T_{обс}$, а также на отдых и личные потребности $T_{о.л}$:

$$T_д = 0,05 \cdot (T_о + T_в) = 0,05 \cdot (6,72 + 2,0) = 0,44 \text{ мин.}$$

Подготовительно заключительное время $T_{пз} = 20$ мин.

Штучно-калькуляционное время на наплавку одной шатунной шейки

$$T_{шт.к} = T_{оп} + T_д + \frac{T_{пз}}{n_п};$$

$$T_{шт.к} = 6,72 + 2,0 + 0,44 + 20/40 = 9,66 \text{ мин.}$$

7.2. Электрохимические покрытия

Норму времени при нанесении электрохимических покрытий определяют по формуле

$$T_н = \frac{(T_о + T_i) \cdot k_{пз}}{n_д \cdot \eta_в}, \qquad (7.5)$$

где $T_о$ – продолжительность осаждения покрытия, ч; T_i – время на загрузку и выгрузку деталей из ванны, принимают равным 0,1 ÷ 0,2 ч; $k_{пз}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное и подготовительно- заключительное время, при односменной работе принимают равным 1,1 ÷1,2; при двухсменной – 1,03 ÷ 1,05; $n_д$ – число деталей, одновременно наращиваемых в ванне, шт.; $\eta_в$ – коэффициент использования ванны ($\eta_в$ = 0,8 ÷ 0,95).

Продолжительность осаждения покрытия определяют по формуле

$$T_о = \frac{1000 \cdot h \cdot \gamma}{c \cdot I \cdot S \cdot \eta}, \qquad (7.6)$$

где h – толщина наращиваемого слоя на сторону, мм; γ – плотность осаждаемого металла (для хромирования – 6,9, осталивании – 7,8 г/ см^3); c – электрохимический эквивалент осаждаемого металла (см. табл. 5.4); S – площадь хромирования, дм^2; I – сила тока, А; η – выход металла по току (см. табл. 5.4).

7.3. Механическая обработка

Расчет норм времени при механической обработке приведен в работе [12].

8. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

8.1. Оформление технологической документации

В комплект технологической документации на восстановление детали входят: ремонтный чертеж, маршрутная карта ремонта (МК), операционная карты (ОК), карты эскизов (КЭ). Примеры оформления операционных и эскизных карт приведены в работе [12].

Пример оформления маршрутной карты ремонта приведен в прил. 8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Восстановление деталей машин*: Справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов и др. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
2. *Воробьев Л. Н.* Технология машиностроения и ремонт машин.- М.: Высшая школа, 1981. 344 с.
3. *Иванов В. П.* Технология и оборудование восстановления деталей машин: Учебник. М.: Техноперспектива, 2007. 458 с.
4. *Краткий справочник металлиста* / под общ. ред. А. Е. Древаля, Е. А.Скороходова. -4-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 960 с.
5. *Молодык Н. В., Зенкин А. С.* Восстановление деталей машин. Справочник. - М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
6. С*олод Г. И., Морозов В. И., Русихин В. И.* Технология машиностроения и ремонт горных машин: учебник для вузов. М.: Недра. 1988. 421с.
7. *Хазин М. Л.* Теория и методы восстановления деталей горных машин: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 308 с.
8. *Обработка металлов резанием*. Справочник технолога / под ред. Панова А. А. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.
9. *Общемашиностроительные нормативы времени*: вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. М.: Машиностроение, 1974. 345 с.
10. *Справочник технолога-машиностроителя*. Т. 1 и 2 /под. ред. Косиловой А. Г. М.: Машиностроение, 2001.
11. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Справочно-методическое пособие по оформлению технологической части ВКРБ, ВКРИ и курсового проекта для студентов направления 150400 «Технологические машины и оборудование». Екатеринбург: УГГУ, 2008. 75 с.
12. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология машиностроения. Технологическая часть ВКРИ: пособие по выполнению технологической части ВКР инженера для студентов специальности 130602 «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (МНГ) направления 130600 «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» очного и заочного Екатеринбург: УГГУ, 2010. 80 с.
13. *Рябов В. Ю., Новикова Н. А.* Методическое руководство для самостоятельной работы студентов специальности 150402 ГМО по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2006. 36 с.

Приложение 1

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Министерство образования и науки РФ
ФБГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине
Теория и технологические методы восстановления
и повышения износостойкости деталей машин

на тему

«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ _____ »
наименование детали

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Вариант задания № _____

Студент _____
Ф. И. О

Группа _____
номер группы

Преподаватель _____
Ф. И. О

Екатеринбург – 2015

Приложение 2

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРВОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

СОДЕРЖАНИЕ

1. Анализ технического состояния детали
2. Анализ дефектов и оценка пригодности детали
2.1. Дефект №1
2.2. Дефект №2
2.3. Дефект №3
3. Выбор рациональных способов восстановления детали
3.1. Выбор по технологическому критерию
3.2. Выбор по техннческому критерию
3.3. Выбор по техннико-экономическому критерию
3.4. Окончательный выбор способа восстановления детали
4. Разработка технологического маршрута восстановления детали
5. Расчет припусков
6. Выбор оборудования, приспособлений, инструмента
6.1. Выбор оборудования
6.2. Выбор приспособлений
6.3. Выбор инструмента
7. Расчет режимов обработки
7.1. Предварительная механическая обработка
7.2. Электрохимическое хромирование
7.3. Механическая обработка
8. Нормирование операций
8.1. Токарная обработка
8.2. Наплавочная
8.3. Токарная обработка
8.4. Фрезерная обработка
9. Технологическая документация
10. Литература

					КР МШС-12 025 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработал		Пупкин В.М.			Разработка технологического процесса восстановления вала	Лит.	Лист 2	Листов 36
Руководитель		Зверев Р.Г.						
Консультант		Волков А.С.				УГГУ группа МШС –12		
Н. Контр.		Крокодилов П.В.						
Утвердил		Боярских Г.А.						

Приложение 3

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОСЛЕДУЮЩИЙ ЛИСТОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ

Заданная деталь представляет собой вал-шестерню.

Приложение 4

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Таблица П4.1

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Способ восстановления	Область применения
Сварка:	
– ручная дуговая	Заварка трещин, приварка накладок, вставок, заплат, наплавка износостойких материалов.
– автоматическая и механизированная дуговая	Заварка трещин, приварка накладок, вставок, заплат, сварка тонколистового материала.
– аргонодуговая	Сварка и наплавка алюминия и коррозионностойкой стали.
– газовая	Заварка трещин, приварка накладок, сварка тонколистового материала.
– ультразвуковая	Сварка цветных металлов, стали, негабаритных деталей
Наплавка:	
– электродуговая под флюсом	Наплавка деталей диаметром более 50 мм при повышенных требованиях к качеству наплавленного материала с толщиной наплавленного слоя более 1 мм
– электродуговая в углекислом газе	Наплавка стальных деталей диаметром более 16 мм широкой номенклатуры, работающих в различных условиях
– вибродуговая	Наплавка стальных деталей, работающих в различных условиях при невысоких требованиях к сопротивлению усталости
– электродуговая порошковой проволокой или лентой	Наплавка износостойких слоев на деталях, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, ударных нагрузок, в узлах трения
– плазменная	Наплавка ответственных деталей при повышенных требованиях к износостойкости и сопротивлению усталости
– контактная	Наплавка гладких цилиндрических наружных и внутренних поверхностей с износами не более 1 мм
– газовая	Наплавка цилиндрических и профильных поверхностей с местным износом и повышенных требованиях к износостойкости
– аргонодуговая	Наплавка алюминиевых деталей и деталей из коррозионно-стойкой стали
– электроискровая	Наращивание и упрочнение поверхностей с износом до 0,2 мм при невысоких требованиях к сплошности покрытия
– высокочастотная	Наплавка износостойких материалов на рабочие органы и лезвия

Продолжение таблицы П4.1

Способ восстановления	Область применения
Нанесение газотермических покрытий:	
– пламенное порошковыми материалами без оплавления (на ацетилене или пропан-бутане)	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности неподвижных сопряжений при невысоких требованиях к прочности сцепления с основным материалом
– плазменное порошковыми материалами и проволокой	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности
– ионно- плазменное	Нанесение износостойких и защитных покрытий толщиной до 0,02 мм
– детонационное	Нанесение износостойких покрытий с особыми свойствами
– электродуговое и высокочастотное	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности с невысокими требованиями к прочности сцепления
Холодное пластическое деформирование:	
– раздача	Восстановление наружных поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями к внутреннему размеру
– вытяжка	Восстановление длины деталей с нежесткими требованиями к наружным размерам
– дорнование и калибровка	Восстановление поверхностей в отверстии после осадки или термического воздействия. Упрочнение и выглаживание
– правка	Восстановление формы
– накатка	Восстановление поверхности неответственных деталей, восстановление рифленой и шлицевой поверхностей
– осадка	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей при нежестких требованиях к длине
– обжим	Восстановление внутренних поверхностей деталей при нежестких требованиях к размерам наружных поверхностей
Горячее пластическое деформирование	
– давление в закрытом штампе	Восстановление формы и элементов деталей за счет перераспределения металла из нерабочих поверхностей на рабочие для компенсации износа
– накатка	Восстановление зубчатых профилей шестерен и звездочек
– ротационное деформирование	Восстановление зубчатых и шлицевых поверхностей.
– обжим	Восстановление внутренних размеров деталей при нежестких требованиях к наружным
– правка	Восстановление формы
– вытяжка	Восстановление длины деталей с нежесткими требованиями к наружным размерам
– осадка	Восстановление наружных и внутренних рабочих поверхностей

Продолжение таблицы П4.1

Способ восстановления	Область применения
Электрохимические процессы:	
– осталивание	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей преимущественно с износом, не превышающим 0,2–0,5 мм, высокой поверхностной твердостью и при нежестких требованиях к прочности сцепления покрытия с основным металлом
– хромирование	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей с износом, не превышающим 0,2 мм, и высокими требованиями по износостойкости восстановленных поверхностей
– никелирование	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей с износом, не превышающим 0,05 мм
– цинкование	Защитное покрытие от коррозии.
– меднение	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей из меди и ее сплавов
– кадмирование	Защитные антикоррозионные покрытия
Нанесение полимерных материалов:	
– напылением, намазыванием	Восстановление посадочных поверхностей неподвижных сопряжений, заделка трещин, пробоин.
– литьем: под давлением, опрессовкой	Восстановление антифрикционных, электроизоляционных и декоративных покрытий, изготовление деталей
– намазыванием жидких прокладок, герметиков	Восстановление герметичности соединений
Обработка под ремонтный размер	
– категорийный	Обработка детали под заданный ремонтный размер сопрягаемой детали с ремонтными стандартными размерами
– индивидуальный	Восстановление формы и посадок поверхностей обработкой более дорогостоящей детали, подгонка менее дефицитной и дорогой детали по размерам основной с обеспечением заданной посадки
Постановка дополнительных деталей:	
– обрезка и приварка быстроизнашивающихся элементов	Восстановление рабочих органов строительных и горных машин
– бандажирование	Восстановление наружных поверхностей деталей с предварительной механической обработкой и без нее
– постановка втулок и компенсационных шайб	Восстановление отверстий, размерных цепей
– постановка свертных колец с закрепляющим раскатыванием	Восстановление отверстий
– постановка фигурных вставок и стяжек	Устранение трещин, восстановление герметичности
– приварка и приклеивание накладок и заплат	Устранение трещин, пробоин, восстановление герметичности

Окончание таблицы П4.1

Способ восстановления	Область применения
Электромеханическая обработка:	
– высаживание и выглаживание	Восстановление поверхностей с износом до 0,2 мм у неподвижных сопряжений
Электрофизическая обработка	
– электроконтактная электроабразивная, анодномеханическая,	Обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью, удаление остатков обломанных инструментов
Электрохимическая обработка.	
– инструментом с подачей электролита	Обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью.

Таблица П4.2

Способы ремонта, применяемые при устранении некоторых типовых дефектов деталей

Вид дефекта	Рекомендуемые способы ремонта
Нарушение формы поверхностей или требований к их взаимному расположению	Холодная или горячая правка Механическая обработка
Износ шпоночного паза	Обработка под ремонтный размер Заделка изношенного паза, фрезерование нового паза под углом в 90° или 120° к изношенному
Износ шлицев	Пластическое деформирование Заваривание изношенных шлицев, фрезерование (протягивание) новых шлицев номинального размера
Срыв более двух ниток, износ, смятие резьбы (наружной и внутренней)	Заваривание резьбы, нарезание резьбы номинального размера Нарезание резьбы ремонтного размера Постановка дополнительной детали
Нарушение защитного покрытия	Цинкование, кадмирование, оксидирование, фосфатирование, хромирование
Трещины	Разделка и заварка
Усталостные трещины (выкрашивание)	Деталь бракуется

Таблица П4.3

Технологические характеристики способов восстановления

Способ восстановления	Толщина слоя, мм		Суммарный припуск, Z, мм	Минимальный наружный диаметр поверхности, мм	Минимальный внутренний диаметр поверхности, мм	Снижение усталостной прочности, %
	наименьшая	наибольшая				
Наплавка:						
– ручная электродуговая	1	5	2	10	40	30
– в среде углекислого газа	0,5	3	2	15	–	15
– в среде водяного пара	1	3	2	15	–	15
– под слоем флюса	1,5	3	2	35	–	15
– вибродуговая	0,5	2	1	15	50	50
– плазменная	0,2	6,5	1			
– контактная наплавка	0,3	1,5	1	5	–	15
Электрохимическое наращивание:						
– хромирование	0,05	0,3	0,1	5	40	20
– осталивание	0,1	3	0,1	12	40	25
Электромеханическое выглаживание	0,2		0,1			
Пластическое деформирование	0,5	2	0,2			
Постановка дополнительной детали	1	5	0,2			
Напыление:						
– дуговая металлизация	0,3	3	2	30	–	12
– электрометаллизация				30	100	45
– газопламенное напыление	0,3	1,5	2	30	–	45
– плазменное	0,3	3				

Таблица П4.4

Коэффициенты износостойкости, выносливости, сцепляемости

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	износостойкости, $K_и$	выносливости, $K_в$,	сцепляемости, $K_{сц}$
Ручная электродуговая наплавка	0,9	0,8	0,8
Электродуговая наплавка в углекислом газе	0,85	0,9÷1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Электродуговая наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Газовая наплавка	0,7	0,7	1,0
Плазменная наплавка	1,0	0,7	0,4
Дуговая металлизация	1,0÷1,3	0,6÷1,1	0,2÷0,3
Газопламенное напыление	1,0÷1,3	0,6÷0,1	0,3÷0,4
Плазменное напыление	1,0÷1,5	0,7÷1,3	0,4÷0,5
Хромирование (электрохимическое)	1,0÷1,3	0,7...1,3	0,4÷0,5
Осталивание (электрохимическое)	0,9÷1,2	0,8	0,65÷0,8
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9÷1,1	0,8	0,8÷0,9
Ручная наплавка	0,9	0,8	1,0
Клеевые композиции	1,0	–	0,7
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	До 3,00	0,8	1,0
Обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование	0,8-1,0	1,0	1,0

Таблица П4.5

Удельная себестоимость восстановления изношенных поверхностей деталей различными способами

Способы восстановления	Удельная себестоимость восстановления, руб/дм^2	Способы восстановления	Удельная себестоимость восстановления, руб/дм^2
Наплавка		Металлизация (напыление)	
– ручная электродуговая	97	– дуговая металлизация	71
– электродуговая в углекислом газе	45	– газопламенная	46
– электродуговая в водяном паре	44	– плазменная	44
– вибродуговая	68	Обработка под ремонтный размер	12
– электродуговая под слоем флюса	47	Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	58
– контактная (приварка металлического слоя)	40	Установка дополнительной детали	34
– электроискровая	28	Электрохимическое осаждение	
– плазменная		хромирование	68
– газовая	77	осталивание	30
Пластическое деформирование	38	Клеевые композиции	22

Таблица П4.6

Припуск на механическую обработку после нанесения покрытий

Способ получения покрытия	Припуск на сторону, мм
Ручная дуговая наплавка	1,4 – 1,7
Дуговая наплавка под слоем флюса	0, 8 – 1,1
Наплавка в среде углекислого газа.	0,6 – 0,8
Электроконтактная наплавка	0,8 – 1,0
Вибродуговая наплавка	0,6 – 0,8
Плазменная наплавка	0,4 – 0, 6
Контактная наварка	0,2 – 0,5
Газотермическое напыление	0,2 – 0,5
Осталивание	0,1 – 0,2
Хромирование	0,05 – 0,1

Таблица П4.7

Припуски на снятие цементированного слоя

Глубина цементированного слоя, мм	Размеры, мм	Припуск, мм	
		на диаметр для цилиндрических наружных и внутренних поверхностей	на сторону для плоских (в том числе торцевых) поверхностей
0,46 – 0,6	До 30	1,5	1,0
	30 – 80	1,7	1,1
	80 – 180	2,0	1,2
0,6 – 0,8	До 30	2,0	1,0
	30 – 180	2,2	1,2
	180 – 260	2,5	1,5
0,8 – 1,1	До 30	2,5	1,5
	30 – 120	2,7	1,7
	120 – 500	3,0	2,0
1,1 – 1,4	До 30	3,2	1,8
	30 – 120	3,5	2,0
	120 – 500	4,0	2,3

Приложение 5

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Таблица П5.1

Материал режущего инструмента

Способ обработки	Материал детали	Материал инструмента
Наружное продольное и поперечное точение проходными резцами с углом φ = 45, 60 и 90°; подрезными резцами; растачивание отверстий расточными резцами с углом φ = 45, 60 и 90°:		
– черновое	Сталь	Т5К10
– получистовое и чистовое	Сталь Сталь < 49 HRC Сталь > 50 HRC	Т30К4,Т15К6 Т14К8, Т30К4, Т15К4, ВК6 ВК4, ВК6, ВК9
– черновое	Серый чугун	ВК6, ВК8
– чистовое	Серый чугун	ВК2, ВК3
– черновое и чистовое	Ковкий чугун Цветные металлы	ВК8 ВК6
Подрезка канавок отрезными резцами	Сталь Чугун	Т15К6, Т5К10 ВК6, ВК8
Нарезание резьбы резьбовыми резцами	Сталь Чугун	Т30К4, Т15К6, Т14К3 ВК6, ВК8, ВК2, ВК3, ВК4
Сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание	Сталь, чугун Алюминиевые сплавы	Р18 Р18
Фрезерование торцевыми фрезами	Сталь Чугун Алюминиевые сплавы	Т3К10,Т15К6, Т14К8 ВК8, ВК6 Р18
Фрезерование цилиндрическими, дисковыми, прорезными фрезами	Сталь, чугун	Р18
	Алюминиевые сплавы	Р18

Таблица П5.2

Коэффициенты трения для материалов

Материал сопрягаемых деталей	Коэффициент трения
Сталь – сталь	0,06 – 0,13
Сталь – чугун	0,07 – 0,12
Сталь – латунь	0,05 – 0,1
Сталь пластмассы	0,15 – 0,25

Таблица П5.3

Модули упругости и коэффициенты Пуассона для некоторых материалов

Материал	Модуль упругости, $E \cdot 10^9$, Па	Коэффициент Пуассона	Материал	Модуль упругости, $E \cdot 10^9$, Па	Коэффициент Пуассона
Сталь углеродистая	2,0 – 2,1	0,26	Бронза фосфористая	1,15	0,33
Сталь легированная	2,1 – 2,2	0,28	Бронза марганцевая	1,10	0,35
Чугун белый, серый	1,15 – 1,60	0,25	Бронза алюминиевая	1,05	0,34

Приложение 6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Таблица П6.1

Характеристики наплавочных станков для дуговой наплавки

Параметр	В защитных газах У – 651	Под слоем флюса У – 652
Размеры наплавляемого изделия, мм:		
– диаметр	20 – 500	40 – 150
– длина	1300	1200
Диаметр электродной проволоки, мм:		
– сплошной	1,6 – 3,5	1,6 – 2,5
– порошковой	2,0 – 3,0	–
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50 – 500	50 – 500
Скорость линейного перемещения сварочной головки, м/ч	0,5 – 150,0	0,5 – 150,0
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$	0,025 – 8,7	0,03 – 10,4

Таблица П6.2

Характеристики установок «Ремдеталь» для электродугового напыления

Показатель	УД – 609.01 детали типа "вал"	УД – 609.10 плоские детали
Производительность, кг/ч	До 10	18,8 (сталь) 12 (алюминий) 40 (цинк)
Рабочее напряжение, В	24–36	17–40
Сварочный ток, А	240–310	50–400
Частота вращения детали, об/мин	80	–
Диаметр применяемых проволок, мм	1,6–2,0	1,5–2,0
Расход сжатого воздуха, м^3/ч	120	До 150
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,5–0,6	0,3–0,6
Максимальная толщина покрытия, мм	5	–
Максимальные размеры восстанавливаемых деталей, мм:		
Длина	2500	600
Диаметр (ширина)	400	450
Занимаемая площадь, м^2	9	6
Габаритные размеры, мм	2620x760x1600	1420x760x1600
Масса комплекта, кг	700	600

Таблица П6.3

Характеристики гальванических установок

Установка	Вместимость ванны, л	Производительность, $дм^2/ч$	Род тока	Ток, А	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Назначение
0013-040 Ремдеталь	160	20 (h = 0,2)*	асимметричный, постоянный	200	42**	1035х 1725х 3230	950	осталивание
0013-024 Ремдеталь	560	17	то же	630	12**	1180х 2146х 4305	1250	осталивание
0013-022 Ремдеталь	390	20 (h = 0,25)*	постоянный	50 $А/дм^2$	42**	9750х 4000х 3500	5500	осталивание
0013-031 Ремдеталь	600	–	ассиметричный, постоянный	630	15**	1560х 2500х 1940	956	холодное осталивание
0013-035 Ремдеталь	200	8 (h = 0,05)*	То же	400	16,8**	4800х 1400х 2500	1370	хромирование

Примечания.
* – В скобках дана толщина покрытия, при которой достигается указанная производительность.
** – Мощность источника питания без учета мощности нагревателей.

Приложение 7

РЕЖИМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Таблица П 7.1

Зависимость тока при наплавке под флюсом и в среде защитных газов от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока, А при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2 – 1,6	2 – 2,5
50 – 60	120 – 140	140 – 160
65 – 75	150 – 170	180 – 220
80 – 100	180 – 200	230 – 280
150 – 200	230 – 250	300 – 350
250 – 300	270 – 300	350 – 380

Таблица П7.2

Режимы токарной обработки восстанавливаемых деталей

Способ восстановления	Вид обработки	Материал инструмента	Режимы резания		
			Скорость резания, *V*, м/мин	Подача, *S*, мм/об	Глубина обработки, *t*, мм
Наплавка	Черновая	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	46,0 27,5	0,2 0,3	1,0 2,0
	Чистовая	Т15К6, Т14К8, ВК3, ВК6, ВК8	138 104	0,15 0,20	0,25 0,50
Газотермическое напыление порошковых материалов	Черновая	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	20	0,30	0,50
	Чистовая	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	40	0,15	0,20
Осталивание	Черновая	Т15К6, ВК6, ВК8, Т30К4	30	0,50	2,00
	Чистовая	Т15К6, ВК6, ВК8, Т30К4	60	0,12	0,20

Таблица П7.3

Режимы шлифования восстанавливаемых деталей

Способ восстановления	Вид обработки	Характеристика шлифовального круга	Режимы обработки			
			$v_к$, м/с	$v_д$, м/мин	$S_{пр}$, м/мин	t, мм
Наплавка	Черновая	Нормальный электрокорунд, зернистость 40-50, твердость СТ-СТ1, связка керамическая	25 – 30	10 – 15	0,7 – 1,2	0,01 – 0,05
	Чистовая	Белый электрокорунд, зернистость 25-40, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	30 – 32	12 – 15	0,4 – 0,7	0,008 – 0,01
Газотермическое напыление порошковых материалов	Черновая	Нормальный электрокорунд, зернистость 46-60, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	10 – 30	6 – 15	0,5 – 0,7	0,01 – 0,03
	Чистовая	То же	20 – 30	3 – 6	0,3 – 0,5	0,008 – 0,01
Контактная наварка металлической ленты	Чистовая	Белый электрокорунд, зернистость 25-40, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	30 – 40	25 – 30	0,2 – 0,3	0,008 – 0,01
Осталивание	Чистовая	Синтетический алмаз АСП10К6, АСП15К8, АСП25К6-50, АСП30К6-50	25 – 35	20 – 25	1,0 – 1,5	0,01 – 0,02
Хромирование	Чистовая	Нормальный электрокорунд, зернистость 40-50, твердость С1-С2, связка керамическая	30 – 40	15 – 20	1,0 – 1,5	0,008 – 0,01

Таблица П7.4

Средняя точность и параметр шероховатости обработанных наружных поверхностей тел вращения

Способ обработки	Квалитет	Параметр шероховатости	
		Ra, мкм	*Rz*, мкм
Обтачивание			
– однократное	12	6,3	30
– черновое + обтачивание чистовое	11 – 10	3,2	15
– однократное + шлифование однократное	10 – 8	1,6 – 0,63	8,0 – 3,2
– обтачивание чистовое + шлифование однократное	8 – 6	0,63	3,2
– однократное + шлифование черновое + шлифование чистовое	7 – 6	0,4	1,8
– черновое + обтачивание чистовое + шлифование черновое + шлифование чистовое	6	0,4	1,8
– черновое + обтачивание чистовое + шлифование чистовое + шлифование тонкое	5	0,2 – 0,1	0,9 – 0,5
Растачивание	12	12,5 – 3,2	50 – 15
Сверление	12	25,0 – 12,5	100 – 50
Сверление + зенкерование	11	6,3 – 3,2	30 – 15
Сверление + развертывание	9 – 8	3,2 – 1,6	30 – 8,0
Сверление + протягивание	9 – 8	3,2 – 0,4	30 – 1,8
Рассверливание	12	25,0 – 6,3	100 – 3,2
Зенкерование	12	12,5 – 3,2	50 – 15
Фрезерование цилиндрическими и торцевыми фрезами			
– черновое	14 – 11	12,5 – 3,2	50 – 15
– получистовое и однократное	12 – 11	3,2 – 1,6	30 – 8,0
– чистовое	10	1,6 – 0,63	8,0 – 3,2
Шлифование			
– однократное	8-7	1,6 – 0,4	8,0 – 1,8
– черновое	9-8	0,63 – 0,4	3,2 – 1,8
– чистовое	7	0,4 – 0,1	1,8 – 0,5

Таблица П7.5

Основные параметры процесса нанесения гальванических покрытий

Вид покрытия	h, мм,	γ, г/см^3	$J_к$, А/дм^2	C, г/(А · ч)	η, %
Хромирование:					
– износостойкое	0,2 – 0,3	6,9	30 – 60	0,324	13
– защитно-декоративное	0,001	6,9	30 – 25	0,324	13
Осталивание	0,2 – 0,6	7,8	30 – 50	1,042	95
Меднение	0,003 – 0,030	8,9	3	1,195	100
Никелирование	0,015 – 0,020	8,9	3	1,095	95
Цинкование	0,020 – 0,010	7,1	2	1,230	95

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНОЙ КАРТЫ РЕМОНТА

ГОСТ 3.1105-74 Форма 5

	Маршрутная карта ремонта	Обозначение и наименование детали (сборочная единица)	Наименование, марка матер.	Код технологического оснащения	Код ремонта
		Ведущий вал	40Х		

	Код и наименование дефекта		Наименование и содержание операции	Оборудование (код, наименование, инвентарный номер, шифр наладки)	Оснастка (код, наименование)		Тшк.	
1	Износ шейки под	005	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
	подшипником			3М161Е				
		010	Гальваническая	Гальваническая				
				ванна				
		015	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
				3М161Е				
2	Износ шпоночной	020	Наплавочная	Трансформатор				
	канавки			сварочный				
				ТС-500				
		025	Вертикально-фрезерная	Верт-фрезерн.				
				6Н12				
		030	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
				3М161Е				

Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Разраб		Листов	Лист

Учебное издание

Марк Леонтьевич Хазин
Сергей Александрович Волегов

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие

Редактор В. В. Баклаева

Компьютерная верстка авторов

Подписано в печать Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16
Печать на ризографе. Печ. л. . Уч.-изд. Тираж 200. Заказ

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
«15» декабря 2018 г.
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

М. Л. Хазин

Б1.В.05 Технология ремонта, восстановления и сборки машин

Методические указания
по самостоятельной работе для студентов
очного и заочного обучения
Направление подготовки
15.03.01 Машиностроение»

Екатеринбург, 2019

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 июня 2019 года

(протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Хазин М. Л.

Технология ремонта, восстановления и сборки машин: Методические указания по самостоятельной работе для студентов очного и заочного обучения. Направление подготовки 15.03.01 Машиностроение». Урал. гос. горный ун-т – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 24 с.

В методических указаниях учебном-практическом пособии приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Технология ремонта, восстановления и сборки машин», даны вопросы для самопроверки по разделам.

Пособие предназначено для студентов направления: 15.03.01 – «Машиностроение».

© Хазин М. Л., 2019

© Уральский государственный
горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Целью обучения дисциплине "Технология ремонта, восстановления и сборки машин" является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по основам проектирования современных технологических процессов ремонта, позволяющих решать задачи, возникающие при выполнении профессиональных функций.

Актуальность данной дисциплины обусловлена отсутствием достаточных средств на защиту новых деталей в машиностроении. Ремонт позволяет сэкономить денежные средства, качественно и в кратчайший срок восстановить работоспособное состояние техники, транспортных и технологических машин и оборудования.

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- приобретение знаний и навыков, необходимых для разработки технологической документации;

- приобретение знаний и навыков, необходимых для восстановления деталей и ремонта машин.

В ходе освоения дисциплины студент готовится к выполнению следующих профессиональных *задач:*

производственно-технологическая деятельность:

- проверка технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;

- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на его ремонт,

Результатом освоения дисциплины является формирование у обучающихся следующих компетенций:

общепрофессиональные

- владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (ОПК-3);

профессиональные

- умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, (ПК-15)1.3.

Перечень дисциплин и тем, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

Для полноценного усвоения учебного материала по дисциплине «Технология ремонта, восстановления и сборки машин» студентам необходимо базироваться на знании следующих дисциплин: математика; сопротивление материалов; инженерная графика; теоретическая механика; материаловедение; технология конструкционных материалов; детали машин; метрология, стандартизация и взаимозаменяемость; экономика; надежность машин.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание учебной дисциплины «ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СБОРКИ МАШИН»:

Тема 1: Организация ремонта в машиностроении.

Организация, методы и виды ремонта. Системы организации ремонта. Ремонтный цикл и его структура. Трудоемкость ремонта, группы ремонтной сложности. Подготовка и планирование ремонтных работ. Ремонтная конструкторско-технологическая документация. Сдача промышленного оборудования в ремонт. Демонтаж и разборка машин и оборудования. Мойка машин, сборочных единиц и деталей. Дефектация деталей. Сборка и испытания машин и оборудования после ремонта. Особенности сборки после ремонта. Испытания машин и оборудования после ремонта. Сдача отремонтированного оборудования заказчику.

Тема 2: Технологические способы восстановление деталей.

Классификация и характеристика технологических способов восстановления деталей. Восстановление деталей механической обработкой,

сваркой и наплавкой, металлизацией, электрохимическим и химическим осаждением. Применение электрофизических способов восстановления деталей. Применение полимерных материалов при восстановлении деталей. Выбор способа восстановления деталей. Выбор материалов для восстановления деталей. Технология ремонта типовых деталей. Проектирование технологического маршрута восстановления деталей.

При изучении курса предусмотрена контрольная работа.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов по изучению отдельных тем дисциплины включает поиск учебных пособий по данному материалу, проработку и анализ теоретического материала, самоконтроль знаний по данной теме с помощью нижеприведенных контрольных вопросов и заданий.

2.1. *Примерные вопросы для подготовки к зачету*

1. Виды ремонтов в машиностроении.
2. Ремонтопригодность машин.
3. Техническое состояние машины.
4. Техническое обслуживание.
5. Ремонтный цикл и его структура.
6. Методы ремонта в машиностроении.
7. Стратегии технического обслуживания и ремонта.
8. Системы организации ремонта.
9. Трудоемкость ремонта.
10. Процессы, протекающие в оборудовании.
11. Особенности поверхностного слоя деталей
12. Технологическое наследование параметров.
13. Строение поверхностного слоя детали.
14. Влияние шероховатости поверхности на долговечность детали.
15. Механизмы разрушения поверхности детали.
16. Назначение ремонтного хозяйства предприятия.
17. Состав ремонтного хозяйства.
18. Задачи и функции ремонтного хозяйства.

19.Организация ремонтной службы.
20.Показатели ремонтного хозяйства.
21.Планирование ремонтных работ.
22.Ремонтная конструкторско–технологическая документация.
23.Ремонтные чертежи.
24.Демонтаж и разборка машин.
25.Приемка машин в капитальный ремонт.
26.Мойка деталей и сборочных единиц.
27.Сущность, цели и задачи дефектации.
28.Способы дефектации.
29.Особенности сборки машин после ремонта.
30.Сборка шпоночных соединений.

2.2. *Примерные вопросы для подготовки к экзамену*

1. Газовая сварка.
2. Классификации электродов.
3. Пористость в покрытиях.
4. Обработка под ремонтный размер.
5. Восстановление постановкой дополнительной деталью.
6. Восстановление деталей наплавкой в защитной атмосфере.
7. Восстановление деталей наплавкой под слоем флюса.
8. Технология заварки трещин.
9. Восстановление забитой резьбы на валу.
10. Восстановление деталей металлизацией.
11. Восстановление деталей пластической деформацией.
12. Восстановление изношенной резьбы на валу.
13. Контактная сварка.
14. Восстановление тонкостенной детали.
15. Восстановление деталей склеиванием.
16. Восстановление деталей металлизацией.
17. Анодно-механическая обработка.
18. Применение оксидирования.
19. Коэффициент долговечности.
20. Электрохимическое нанесение покрытия на детали.
21. Ручная электродуговая сварка.
22.. Ультразвуковая обработка деталей.
23.. Электроискровая обработка.
24. Лазерная сварка.
25. Плакирование.
26. Восстановление металлизацией.
27. Восстановление деталей синтетическими материалами.
28. Восстановление деталей вибродуговой наплавкой.
29. Электрофизическая обработка.
30. Классификация методов восстановления деталей машин.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

По курсу "Технология ремонта, восстановления и сборки машин" при заочной форме обучения выполняется одна контрольная работа.

Контрольная работа ставит своей задачей закрепить и расширить теоретические знания и практические навыки по совершенствованию технологии и организации восстановления деталей и сборочных единиц. Общим направлением контрольной работы является совершенствование организации проведения ремонта.

4. КОМПЛЕКТ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ

5.

Тестовые задания, направленные на оценку знаний, формирующих компетенцию ОПК-3: владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (*знать*: - организацию и производственные процессы ремонта в машиностроении; *уметь*: - получить и переработать информацию для составления графика ППР); **ПК-15**: умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования (*знать*: организацию и производственные процессы ремонта в машиностроении; *уметь*: проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования.

Тема № 1

Вариант 1

1. Разрушению лучше противостоит сталь с качеством поверхности
   а) Rz 40
   б) 1,25
   в) 2,5
   г) Rz 20
2. Виды ремонта
   а) плановый
   б) аварийный
   в) гарантийный
   г) все перечисленные
3. Коэффициент долговечности – это
   а) отношение времени работы новой детали к времени работы

восстановленной детали

б) отношение времени работы восстановленной детали к времени работы новой детали

в) время работы новой детали

г) время работы восстановленной детали

4. По размерам поры в покрытии подразделяются на

а) микропоры, макропоры, промежуточные

б) микропоры, поры, макропоры

в) малые, большие, промежуточные

г) микропоры, макропоры, средние

5. Для восстановления детали следует использовать способ, коэффициент долговечности k которого

а) $k < 1$

б) $k = 1$

в) $k > 0,8$

г) $k > 0,5$

6. По форме поры в покрытии подразделяются на

а) длинные и короткие

б) канальчатые и точечные

в) вытянутые и круглые

г) канальчатые и шаровые

7. Для выбора способа восстановления детали используют критерии

а) технический, долговечности, технолого-экономический

б) технический, долговечности, технико-экономический половинчатый

в) технологический, долговечности, экономический

г) технологический, долговечности, технико-экономический

8. Технико-экономический критерий позволяет подобрать способ восстановления детали из условия, что стоимость восстановления

а) меньше стоимости изготовления данной детали

б) больше стоимости изготовления данной детали

в) равна стоимости изготовления данной детали

г) много меньше стоимости изготовления данной детали

9. Целью технологического процесса восстановления является

а) восстановление детали

б) ремонт детали

в) возвращение детали утраченной работоспособности

г) ремонт машины

10. Трудоемкость ремонта

а) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в человеко-часах

б) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в рублях

в) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в машино-часах г) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в часах

Вариант 2

1. Показателем ремонтопригодности является
   а) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта
   б) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности или отказа путем проведения технического обслуживания
   в) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения ремонта
   г) затраты на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта
2. Технологическо-эксплуатационной наследственность
   а) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин при их эксплуатации
   б) влияние технологии обработки деталей машин на их эксплуатацию
   в) влияние технологии обработки деталей машин на их долговечность
   г) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин
3. Назначение ремонтного хозяйства предприятия:
   а) своевременное и в полном объеме удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования с минимальными затратами
   б) своевременное и в полном объеме удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования
   в) своевременное удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования с минимальными затратами.
   г) в полном объеме удовлетворение потребностей производственных подразделений предприятия в техническом обслуживании и ремонте оборудования с минимальными затратами
4. Основная задача ремонтного хозяйства
   а) обеспечить бесперебойную эксплуатацию оборудования при минимальных затратах на ремонт
   б) обеспечить бесперебойную эксплуатацию оборудования при минимальных затратах на ремонтообслуживание
   в) обеспечить эксплуатацию оборудования при минимальных затратах на ремонт
   г) обеспечить бесперебойную эксплуатацию оборудования
5. Техническая подготовка ремонта включает в себя
   а) конструкторскую и технологическую подготовку
   б) конструкторскую и техническую подготовку

в) конструкторскую и материальную подготовку

г) технологическую и техническую подготовку

6. На ремонтных чертежах указывают

а) все размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия повышается не меняется

б) только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия

в) только те размеры, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия повышается понижается

г) только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе сборки изделия

7. Ремонтные размеры деталей делятся на

а) категорийные и пригоночные

б) категорийные и свободные

в) стандартные и регламентируемые

г) категорийные и стандартные

8. На ремонтном чертеже

а) не допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали

б) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали

в) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали только в единичной производстве

г) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали в исключительных случаях

9. Дефектация – это процесс

а) выявления технического состояния деталей и сопряжений

б) выявления технического состояния деталей и сопряжений путем сравнения фактических показателей с данными технической документации

в) выявления технического состояния деталей путем сравнения фактических показателей с данными технической документации

г) выявления технического состояния деталей и сопряжений путем сравнения с данными технической документации

10. В результате проведения дефектации все детали сортируются на три группы:

а) годные без восстановления, негодные без восстановления, неподлежащие восстановлению

б) негодные без восстановления, подлежащие полному восстановлению, неподлежащие восстановлению

в) годные без восстановления, подлежащие восстановлению, неподлежащие восстановлению

г) годные без восстановления, подлежащие частичному восстановлению,

неподлежащие восстановлению

Вариант 3

1. По последовательности сборки выделяют:
   а) последовательную
   б) параллельную степень перегрева
   в) последовательно-параллельную
   г) все перечисленные
2. По уровню механизация и автоматизации процесса сборку разделяют на:
   а) механизированную
   б) автоматизированную
   в) автоматическую
   г) все перечисленные
3. Планирование работ по всем видам ремонтов оборудования подразделяют на:
   а) долгосрочное, годовое и текущее (месячное)
   б) длительное, годовое и текущее (месячное)ударную вязкость
   в) долгосрочное, годовое и не срочное (текущее)
   г) долгосрочное, малосрочное и текущее
4. Целью технологического процесса восстановления является
   а) восстановление детали
   б) ремонт детали
   в) возвращение детали утраченной работоспособности
   г) ремонт машины
5. Трудоемкость ремонта
   а) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в человеко-часах
   б) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в рублях
   в) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в машино-часах г) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в часах
6. Целью технологического процесса восстановления является
   а) восстановление детали
   б) ремонт детали
   в) возвращение детали утраченной работоспособности
   г) ремонт машины
7. Технико-экономический критерий позволяет подобрать способ восстановления детали из условия, что стоимость восстановления
   а) меньше стоимости изготовления данной детали
   б) больше стоимости изготовления данной детали
   в) равна стоимости изготовления данной детали
   г) много меньше стоимости изготовления данной детали
8. Показателем ремонтопригодности является

а) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта

б) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности или отказа путем проведения технического обслуживания

в) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения ремонта

г) затраты на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта

9. Технологическо-эксплуатационной наследственность

а) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин при их эксплуатации

б) влияние технологии обработки деталей машин на их эксплуатацию

в) влияние технологии обработки деталей машин на их долговечность

г) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин

10. По организации производства выделяют:

а) типовую поточную

б) групповую

в) единичную

г) все перечисленные

Вариант 4

1. В результате проведения дефектации все детали сортируются на три группы:

а) годные без восстановления, негодные без восстановления, неподлежащие восстановлению

б) негодные без восстановления, подлежащие полному восстановлению, неподлежащие восстановлению

в) годные без восстановления, подлежащие восстановлению, неподлежащие восстановлению

г) годные без восстановления, подлежащие частичному восстановлению, неподлежащие восстановлению

2. Дефектация – это процесс

а) выявления технического состояния деталей и сопряжений

б) выявления технического состояния деталей и сопряжений путем сравнения фактических показателей с данными технической документации

в) выявления технического состояния деталей путем сравнения фактических показателей с данными технической документации

г) выявления технического состояния деталей и сопряжений путем сравнения с данными технической документации

3. На ремонтном чертеже

а) не допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали
б) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали
в) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали только в единичной производстве
г) допускается одновременно указывать несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов детали в исключительных случаях

4. Техническая подготовка ремонта включает в себя
а) конструкторскую и технологическую подготовку
б) конструкторскую и техническую подготовку
в) конструкторскую и материальную подготовку
г) технологическую и техническую подготовку

5. На ремонтных чертежах указывают
а) все размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия повышается не меняется
б) только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия
в) только те размеры, которые должны быть выполнены и проверены в процессе ремонта и сборки изделия повышается понижается
г) только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены в процессе сборки изделия

6. Ремонтные размеры деталей делятся на
а) категорийные и пригоночные
б) категорийные и свободные
в) стандартные и регламентируемые
г) категорийные и стандартные

7. Разрушению лучше противостоит сталь с качеством поверхности
а) Rz 40
б) 1,25
в) 2,5
г) Rz 20

8. Виды ремонта
а) плановый
б) аварийный
в) гарантийный
г) все перечисленные

9. Коэффициент долговечности – это
а) отношение времени работы новой детали к времени работы восстановленной детали
б) отношение времени работы восстановленной детали к времени работы новой детали

в) время работы новой детали
г) время работы восстановленной детали

10. По последовательности сборки выделяют:
а) последовательную
б) параллельную степень перегрева
в) последовательно-параллельную
г) все перечисленные

Вариант 5

1. Трудоемкость ремонта
а) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в человеко-часах
б) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в рублях
в) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в машино-часах г) затраты труда на ремонт машины (оборудования), выраженные в часах

2. Целью технологического процесса восстановления является
а) восстановление детали
б) ремонт детали
в) возвращение детали утраченной работоспособности
г) ремонт машины

3. Технико-экономический критерий позволяет подобрать способ восстановления детали из условия, что стоимость восстановления
а) меньше стоимости изготовления данной детали
б) больше стоимости изготовления данной детали
в) равна стоимости изготовления данной детали
г) много меньше стоимости изготовления данной детали

4. Показателем ремонтопригодности является
а) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта
б) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности или отказа путем проведения технического обслуживания
в) время, затрачиваемое на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения ремонта
г) затраты на процессы и операции предупреждения, поиска и устранения неисправности путем проведения технического обслуживания и ремонта

5. Технологическо-эксплуатационной наследственность
а) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин при их эксплуатации
б) влияние технологии обработки деталей машин на их эксплуатацию

в) влияние технологии обработки деталей машин на их долговечность
г) влияние технологии обработки заготовок на качество деталей машин

6. По организации производства выделяют:
а) типовую поточную
б) групповую
в) единичную
г) все перечисленные

7. По последовательности сборки выделяют:
а) последовательную
б) параллельную степень перегрева
в) последовательно-параллельную
г) все перечисленные

8. По уровню механизация и автоматизации процесса сборку разделяют на:
а) механизированную
б) автоматизированную
в) автоматическую
г) все перечисленные

9. Планирование работ по всем видам ремонтов оборудования подразделяют на:
а) долгосрочное, годовое и текущее (месячное)
б) длительное, годовое и текущее (месячное)ударную вязкость
в) долгосрочное, годовое и не срочное (текущее)
г) долгосрочное, малосрочное и текущее

10. Целью технологического процесса восстановления является
а) восстановление детали
б) ремонт детали
в) возвращение детали утраченной работоспособности
г) ремонт машины

Тестовые задания, направленные на оценку знаний, формирующих компетенцию ОПК-3: владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (*знать*: - прогрессивные технологические процессы восстановления и упрочнения изношенных деталей машин; *уметь*: проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования получить и переработать информацию для составления графика ППР); **ПК-15**: умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования (*знать*: прогрессивные технологические процессы восстановления и упрочнения изношенных деталей машин; *уметь*: разработать технологический процесс восстановления деталей и ремонта машин; разработать технологическую документацию).

Тема № 2

Вариант 1

1. При какой наплавке температура детали не поднимается выше 80 ^{o}C

а) газовой
б) электродуговой
в) вибродуговой
г) плазменной

2. Получаемое при электрохимическом осталивании покрытие по составу и свойствам соответствует
а) низкоуглеродистой стали
б) среднеуглеродистой стали
в) высокоуглеродистой стали
г) техническому железу

3. Электроискровая обработка позволяет
а) удалять из отверстия сломанные инструменты
б) удалять из отверстия сломанные болты
в) получать отверстия любой формы сечения
г) все указанные действия и фосфора

4. При химическом нанесении покрытий электроны для восстановления ионов металла берутся
а) из раствора электролита
б) из лигандов
в) от катода
г) от анода

5. После обработке под ремонтный размер деталь приобретает размеры
а) номинальные
б) ремонтные
в) фактические
г) действительные

6. Для регулировки мощности пламени используют сменные наконечники для горелок в количестве
а) 5
б) 9
в) 8
г) 7

7. Недостаток восстановления деталей металлизацией и напылением
а) большие потери металла на разбрызгивание
б) малая толщина покрытия
в) низкая производительность
г) низкая твердость покрытия

8. Температура дуги при ручной электродуговой сварке, ^{o}C
а) 8000–10000
б) 2000–4000
в) 4000– 6000
г) 20000–30000

9. Число ремонтов вала при обработке под ремонтный размер определяется
а) из технологических соображений
б) из расчета на прочность

в) из конструктивных соображений
г) по условиям работы

10. Газовую сварку применяют при ремонте
а) в заводских условиях
б) в полевых условиях
в) в мастерской
г) в цехе

Вариант 2

1. Восстановление постановкой дополнительной деталью заключается в
а) удалении дефектного слоя механической обработкой и установке дополнительной детали
б) нанесении металлического слоя с последующей установкой дополнительной детали
в) слесарной обработке и установке дополнительной детали
г) установке дополнительной детали М

2. Недостаток восстановления деталей наплавкой в защитной атмосфере
а) малая толщина покрытия
б) низкая твердость покрытия
в) большие потери металла на разбрызгивание
г) низкая производительность

3. Источник питания сварочной дуги переменного тока, это сварочный
а) трансформатор
б) сварочный выпрямитель
в) преобразователь сплавы
г) генератор

4. При наплавке каждый следующий виток (проход) должен перекрывать предыдущий
а) не менее чем на 1/3
б) не менее чем на 0,1
в) не менее чем на 1/2
г) не должен

5. Наплавка это нанесение слоя металла на поверхность детали
а) под давлением
б) сваркой
в) в твердом состоянии
г) в жидком состоянии

6. Недостаток восстановления деталей наплавкой под слоем флюса
а) малая толщина покрытия
б) низкая твердость покрытия
в) значительный нагрев детали
г) низкая производительность

7. При модуле ≤ 5 зубчатое колесо восстанавливают
а) сплошной круговой наплавкой

б) наплавкой каждого зуба в отдельности
в) металлизацией
г) сваркой

8. Какую операцию не проводят перед наплавкой
а) механическую обработку резанием
б) обезжиривание
в) очистка
г) мойку

9. Цифра в обозначении типа электрода Э150
а) предел прочности сварного шва
б) длина электрода
в) диаметр электрода
г) предел прочности электрода

10. При точечной сварке соединение поверхностей происходит за счет
а) образования сварной точки
б) образования межатомных связей в отдельных точках
в) сварки в разных точках
г) образования лито-сварной точки

Вариант 3

1). При заварке трещин сначала заваривают
1) 3) в любом порядке
2) 4),
а) концевые отверстия, затем трещину
б) трещину, затем концевые отверстия
в) первое отверстие
г) трещину, второе отверстие

2. Электрохимическое меднение применяют для
а) снижения трения
б) повышения пластичности
в) повышения износостойкости
г) снижения прочности и твердости

3. правка валов может проводиться в состоянии
а) холодном и теплом
б) горячем и теплом
в) холодном и горячем
г) подогретом и теплом

4. При модуле 10 и более зубчатое колесо восстанавливают
а) сваркой
б) сплошной круговой наплавкой
в) наплавкой каждого зуба в отдельности
г) металлизацией

5. Плотный герметичный шов обеспечивает сварка
а) стыковая оплавлением

б) точечная
в) шовная
г) стыковая сопротивлением

6. Стали, свариваемые в защитной атмосфере углекислого газа
а) малоуглеродистые и низколегированные
б) высокоуглеродистые
в) высоколегированные
г) среднеуглеродистые

7. Методом металлизации можно восстанавливать детали из
а) стали
б) дерева
в) любых материалов
г) цветных металлов

8. Аргонодуговую сварку не используют при сварке
а) титана
б) легированной стали
в) цветных металлов
г) углеродистой стали

9. Забитую резьбу на валу восстанавливают
а) наплавкой
б) метчиком
в) фрезерованием
г) прогонкой плашки

10. После правки вала необходимо провести
а) закалку
б) отжиг
в) отпуск
г) нормализацию

Вариант 4

1. Обломок крепежа можно удалить из глубины отверстия
а) забивкой квадратной оправки
б) приваркой поперечного стержня
в) отверткой
г) забивкой круглой оправки

2. При восстановлении, дополнительную деталь стопорят от продольного смещения
а) болтом
б) штифтом
в) штифтом или проваркой по контуру
г) проваркой по контуру серы

3. Сварочной дугой называется
а) мощный нестабильный разряд электричества в газе
б) маломощный нестабильный разряд электричества в газе

в) тлеющий разряд
г) мощный стабильный разряд электричества в газе

4. Технологический критерий позволяет
а) отобрать способы, не подходящие для восстановления данной детали
б) отобрать способы, подходящие для восстановления данной детали
в) подобрать технологию восстановления данной детали
г) сгруппировать детали с одинаковыми дефектами

5. Флюс при сварке используется для
а) обеспечения стабильности горения дуги
б) легирования металла
в) уменьшения пористости шва
г) защиты металла от окисления

6. Детали подлежат восстановлению, если их износ
а) меньше допустимого
б) меньше предельного
в) больше допустимого
г) больше предельного 60

7. При металлизации структура получаемого покрытия
а) неоднородная
б) неоднородная с неметаллическими включениями
в) плотная
г) однородная

8. Нахлесточные сварные соединения образуются при сварке
а) термитной
б) стыковой
в) точечной и шовной
г) трением

9. Толщина каждой из заготовок при шовной и точечной контактной сварке
а) до 5 мм
б) до 35 мм
в) любая
г) до 15 мм

10. Восстановление детали обработкой под ремонтный размер заключается в
а) удалении дефектного слоя механической обработкой
б) ремонте размеров
в) нанесении слоя с последующей механической обработкой
г) слесарной обработке

Вариант 5

1. Пористое покрытие используют для
а) уменьшения массы покрытия
б) запасания воздуха
в) проветривания детали
г) запасания масла

2. Задачей технологического процесса восстановления деталей является выбор наиболее

а) рационального способа восстановления

б) экономичного способа восстановления

в) рационального и экономичного способа восстановления

г) рационального и экономичного способа восстановления в условиях данного предприятия

3. Клей ВС-10Т применяют для склеивания

а) металлов

б) неметаллов

в) любых материалов

г) металлов и неметаллов

4. Лазерную сварку можно проводить в

а) вакууме

б) на воздухе

в) в защитной атмосфере

г) при всех условиях

5. Производительность при ручной электродуговой сварке зависит от

а) мощности дуги

б) квалификации сварщика

в) напряжения

г) силы тока колес

6. Тонкостенную деталь можно восстанавливать наплавкой

а) электродуговой

б) газовой

в) вибродуговой

г) плазменной

7. проволока для металлизации применяется

а) гладкая и твердая

б) гладкая и мягкая

в) полутвердая

г) мягкая и с пупырышками

8. Вытяжка – увеличение длины детали за счет

а) уменьшения ширины

б) локального уменьшения поперечного сечения

в) уменьшения высоты

г) уменьшения поперечного сечения

9. Оксидирование применяют для

а) повышения износостойкости

б) восстановления износа марганец

в) повышения твердости

г) защиты от коррозии

10. Электрическая дуга прямой полярности

а) переменного тока

б) минус – электрод, плюс – изделие

в) минус – изделие, плюс – электрод
г) постоянного тока

Критерии оценивания: правильность ответа
Правила оценивания тестового задания:
Правильный ответ – 1 балл.
Неправильный ответ, ответ с ошибкой – 0 баллов
Критерии оценки:

оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он набрал 9-10 баллов (90-100% правильных ответов)

оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он набрал 7-8 баллов (70-89% правильных ответов)

оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал 5-6 баллов (50-69% правильных ответов)

оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он набрал 0-4 баллов (0-49% правильных ответов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Восстановление деталей машин : справочник / Под ред. В. П. Иванова. - Москва: Машиностроение, 2003. - 672 с.

2 Воробьев Л. Н. Технология машиностроения и ремонт машин .: учебник - Москва: Высшая школа, 1981. - 344 с.

3 Дмитриев В. Т., Горшков Э. В., Зубов В. В. Основы эксплуатации и ремонта технологического оборудования : учебно-методическое пособие : для студентов направления бакалавриата 150700; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2015. - 65 с.

4 Проектирование технологических процессов восстановления деталей и ремонтных баз горных предприятий: учебное пособие / В. Т. Дмитриев, Г. А. Боярских. - 2-е изд., стер. - Екатеринбург : УГГГА, 2001. - 140 с.

5 Солод Г. И., Морозов В. И., Русихин В. И. Технология машиностроения и ремонт горных машин : учебник. - Москва: Недра, 1988. - 421 с.

6 Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства: учебник для студентов высших учебных заведений / В. А. Горохов [и др.]; под ред. В. П. Иванова. - Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 552 с.

7 Хазин М. Л. Теория и методы восстановления деталей горных машин: учебное пособие. - Екатеринбург : УГГУ, 2006. - 308 с.

8 Хазин М. Л., Волегов С. А. Теория и технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин: учебное пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления бакалавриата 15.03.01. Екатеринбург : УГГУ, 2015. - 80 с.



Министерство науки и образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

М. Л. Хазин, С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СБОРКИ МАШИН

Учебное пособие

по выполнению курсовой работы
для студентов направления бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»
очного и заочного обучения

Екатеринбург
2018

Министерство науки и образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
«15» декабря 2017 г.
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

М. Л. Хазин, С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СБОРКИ МАШИН

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы
для студентов направления бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»
очного и заочного обучения

Издание УГГУ
Екатеринбург, 2018

Х12

Рецензент: *Бухмастов А. В.*, канд. техн. наук,
директор НП «Союз машиностроительных предприятий
Свердловской области»

Учебное пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 декабря 2017года
(протокол № 4) и рекомендовано для издания в УГГУ

Хазин М. Л., Волегов С. А.

Х12 ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СБОРКИ МАШИН: учебное пособие по выполнению курсовой работы для студентов направления бакалавриата 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения / М. Л. Хазин, С. А. Волегов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 79 с.

В учебном пособии приведена последовательность выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Теория и технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин», изложена методика разработки технологического процесса восстановления деталей оборудования, анализа дефектов и технического состояния деталей, составления технологических карт, приведен порядок выбора способа восстановления при ремонте деталей оборудования.

Пособие предназначено для студентов направления бакалавриата 15.03.01 – «Машиностроение», подготовка которых требует знаний по ремонту промышленного оборудования.

© Хазин М. Л., Волегов С. А., 2018
© Уральский государственный
горный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ……..... 5
1.1. Цель и задачи курсовой работы……. 5
1.2. Объем и содержание курсовой работы…… 6
1.3. Расчётно-пояснительная записка……. 6
1.4. Графическая часть……. 6
1.5. Оформление курсовой работы…….. 7
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА…….. 10
2.1. Порядок выполнения работы…… 10
2.2. Анализ технического состояния детали……. 11
2.3. Анализ дефектов и оценка пригодности детали……. 12
2.4. Выбор способа восстановления деталей……. 20
2.5. Разработка маршрута восстановления детали……. 26
2.6. Расчет припусков при восстановлении детали……. 28
3. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ……. 30
3.1. Требования к материалам……. 30
3.2. Металлическая проволока и лента…….. 30
3.3. Штучные электроды и прутки…….. 31
3.4. Порошки……... 31
3.5. Порошковая проволока и ленты…….. 32
3.6. Синтетические материалы……. 33
3.7. Выбор и определение нормы расхода материала……. 34
4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ……..... 35
5. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ……... 38
5.1. Наплавка…….. 38
5.2. Наварка ленты и проволоки……. 41
5.3. Нанесение электролитических покрытий……... 42
5.4. Механическая обработка…… 44
6. БРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ…….. 50
6.1. Особенности механической обработки восстановленных деталей…… 50
6.2. Базирование деталей……. 50
6.3. Обработка наплавленных поверхностей……. 52
6.4. Обработка деталей с газотермическими покрытиями…….. 53
6.5. Обработка синтетических материалов……. 53
6.6. Обработка деталей с электрохимическими покрытиями……. 54
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ВРЕМЕНИ…… 55
7.1. Наплавка…….. 55
7.2. Электрохимические покрытия…….. 58
7.3. Механическая обработка……. 58
8. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ…… 59
8.1. Оформление технологической документации…… 59

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….. 59
Приложение 1. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ…….. 60
Приложение 2. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРВОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ……. 61
Приложение 3. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ЛИСТОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ…… 62
Приложение 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ……... 63
Приложение 5. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ……. 71
Приложение 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ……. 73
Приложение 7. РЕЖИМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ……. 75
Приложение 8. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНОЙ КАРТЫ РЕМОНТА 79

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель и задачи курсовой работы

Цель курсовой работы – научить студентов проектировать эффективные и экономичные технологические процессы восстановления деталей машин на основе современных достижений отечественного и зарубежного машиностроения и ремонтного производства.

В процессе работы решаются следующие *задачи*:

- проверка технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;

- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на его ремонт,

В процессе работы студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

общепрофессиональные

владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (ОПК-3);

профессиональные

умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, (ПК-15).

Курсовая работа является завершающим этапом изучения дисциплины «Технология ремонта, восстановления и сборки машин» и служит для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении ранее читаемых дисциплин.

1.2. Объем и содержание курсовой работы

Курсовая работа выполняется согласно заданию, выданному преподавателем, и состоит из расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и графической части (чертежей, графиков).

В курсовой работе студент разрабатывает технологический процесс ремонта детали.

Объём курсового проекта определяют документы, поясняющие и раскрывающие его содержание:

- Задание на проектирование (прил. 1).
- Расчётно-пояснительная записка, представляющая собой все необходимые технические и технико-экономические расчёты, дающие обоснование принятым в проекте решениям.
- Технологическая документация (маршрутная, операционные и эскизные карты).
- Иллюстрации технологического процесса восстановления детали.

1.3. Расчётно-пояснительная записка

Расчетно-пояснительная записка является основным документом курсовой работы, в которой приводится исчерпывающая информация о выполненных расчетных и технологических разработках.

Расчётно-пояснительная записка должна быть написана в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание и рабочий чертеж детали;
- оглавление;
- введение;
- расчетно-технологическая часть;
- заключение;
- список литературы;
- приложение (технологические карты).

Основные положения расчетно-пояснительной записки иллюстрируются таблицами, схемами, рисунками, графиками. Они должны иметь сквозную нумерацию и соответствующие подрисуночные надписи.

1.4. Графическая часть

Графическая часть курсовой работы представляет собой рабочий чертеж детали, ремонтный чертеж детали и иллюстрация технологического процесса восстановления поверхности детали (формат А1). Обрабатываемые поверхности обозначаются сплошной основной линией толщиной от 2*s* до 3*s* или цветом.

Ремонтный чертеж детали выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.604-2000 ЕСКД. Чертежи ремонтные.

На ремонтных чертежах изображают только те виды, разрезы и сечения, которые необходимы для проведения ремонта детали или сборочной единицы. Указывают только те размеры, предельные отклонения, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены в процессе ремонта и сборки изделия.

1.5. Оформление курсовой работы

Пояснительная записка пишется от руки черными, синими или фиолетовыми чернилами или печатается на принтерных устройствах ЭВМ на листах формата А4 ГОСТ 2.105-95 шрифтом Times New Roman кеглем 14.

Первым листом пояснительной записки, после титульного, является лист, определяющий ее содержание, с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104-68. Все последующие листы выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТ. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение). Код документа включает в себя наименование работы, обозначение учебной группы, номер группы, номер задания и наименование документа. Например,

КР МШС 012 025 ПЗ, где КР – курсовая работа; МШС – обозначение учебной группы; 12 – номер группы; 25 – номер задания; ПЗ – пояснительная записка.

Слово «Оглавление» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм.

Расчетно-пояснительная записка должна иметь ясную и четкую рубрикацию разделов. Текст записки разделяют на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует писать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовками раздела, подраздела и текстом должно быть 1,5 – 2 интервала.

Формулы пишутся на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные результаты не записываются. Расчётные формулы должны иметь чёткую связь с расчётными схемами и сквозную нумерацию (в круглых скобках с правой стороны листа). Буквенные обозначения формул должны иметь расшифровку, а цифровые константы – соответствующую ссылку на литературу (в квадратных скобках в тексте).

Пример 1

Минутная подача $S_м$, мм/мин, рассчитывается по формуле

$$S_м = S_о \cdot n,$$

где $S_о$ – подача на оборот детали, мм/об; n – частота вращения детали, мин$^{-1}$.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номеров раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Номер рисунка и наименование записывают следующим образом: «Рис. 2.1. Эскиз заготовки», – и помещают после пояснительных данных.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы в соответствии с рис. 1.1.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице. См. пример оформления таблицы (табл.1.1).

Таблица 1.1

Химический состав качественных углеродистых конструкционных сталей в процентах

Марка стали	Элементы, %				
	C	Si	Mn	P	S
20	0,20	0,17 – 0,37	0,35-0,65	< 0,04	< 0,04
25	0,25			< 0,04	< 0,04
30	0,30			< 0,04	< 0,04
35	0,35			< 0,04	< 0,04

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз – справа над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием ее номера.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.

На все использованные источники в тексте расчетно-пояснительной записки должны быть ссылки. В список литературы включают все использованные источники, которые следует располагать в порядке появления ссылок в тексте расчетно-пояснительной записки. Номер ссылки указывается в тексте в квадратных скобках (например, припуск берется по справочнику [4]).

Оформление ссылок проводится в соответствие с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Оформление технологической документации на восстановление детали – маршрутной и операционных карт, карт эскизов – проводится согласно ГОСТ 3.1103-82, ГОСТ 3.1104-81, ГОСТ 3.1105-84, ГОСТ 2.109-73.

Каждая операционная карта сопровождается картой эскизов (по ГОСТ 3.1104-81, 3.1105-84 на форматах А4 по ГОСТ 2.301-68 прил. 1), на которой указывается базирование и крепление детали, способ нанесения материала при восстановлении, режущий инструмент, форма, шероховатость и размеры (с допусками) поверхностей после обработки на данной операции.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1. Порядок выполнения работы

При разработке технологического процесса восстановления детали осуществляется:

- изучение реальных сочетаний дефектов на деталях;
- обоснование и выбор способа восстановления;
- разработка маршрутного и операционного технологических процессов;
- выбор рациональной последовательности выполнения операций;
- выбор оборудования, приспособлений, материалов, инструмента;
- определение оптимальных режимов восстановления и обработки;
- нормирование затрат труда и материалов при соблюдении всех технических требований и обеспечения требуемого уровня качества, минимальных материальных и трудовых затрат.

При этом обеспечивается строгое соблюдение всех технических требований, заданный уровень качества продукции при минимальных материальных трудовых затратах.

При разработке технологического процесса восстановления детали *рекомендуется следующий порядок работы*:

- анализ технического состояния детали;
- анализ дефектов и оценка пригодности детали;
- выбор рациональных способов устранения дефектов и обеспечения необходимого ресурса детали (сравниваются не менее трех вариантов технологического процесса восстановления детали по соответствующим критериям);
- разработка технологического маршрута восстановления детали:
- расчет припусков;
- выбор оборудования, приспособлений, инструмента;
- расчет режимов обработки в соответствии с требованиями точности и шероховатости (для заданной поверхности);
- нормирование операций;
- назначение контрольных операций по технологическому процессу;
- оформление технологической документации на процесс восстановления детали.

Исходной базовой информацией служат:

- программа выпуска ремонтируемой сборочной единицы или узла;
- сборочный чертеж ремонтируемого узла;
- рабочий чертеж детали;
- информация о технологических процессах восстановления деталей;
- перечень дефектов;
- указания о применимости различных способов устранения дефектов;
- условия эксплуатации и режимов работы детали (узла).

2.2. Анализ технического состояния детали

Анализ технического состояния изношенной детали начинают с установления причин потери работоспособности при эксплуатации машины. Для этого изучается конструкция сборочной единицы, в которую входят детали, а также условия ее работы. После этого дается характеристика детали.

Характеристика детали включает:

- наименование детали;
- назначение детали, ее конструктивные особенности и местонахождение в узле;
- наименование и марку материала детали;
- вид термической обработки заданных для восстановления поверхностей, глубину обработки и твердость материала детали;
- технологические и механические свойства материала детали: возможность обработки резанием, давлением, сваркой, термической обработкой и пр.;
- габаритные размеры детали: длину, диаметр (ширину и высоту); массу детали;
- указываются основные и вспомогательные конструкторские базы, исполнительные поверхности;
- анализ допусков на размеры, формы и взаимного расположения поверхностей детали.

Пример 2

Деталь – вал ступенчатый, предназначенный для передачи крутящего момента от ступицы зубчатого колеса на внешнюю нагрузку, выполненный из материала сталь 45 ГОСТ 1051-98. Термообработка – нормализация, глубина обработки – 3 мм, твердость – 600 НВ.

Материал детали (сталь 45) может обрабатываться резанием, давлением, сваркой, термической обработкой и пр. Свойства материала детали, с учетом термообработки [4], приведены в табл. 2.1

Таблица 2. 1

Механические свойства стали 45 после нормализации

Временное сопротивление растяжению, $\sigma_в$, МПа	610
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	360
Предел выносливости при растяжении, $\sigma_{-1р}$, МПа	220
Предел выносливости при изгибе, $\sigma_{-1и}$, МПа	275
Относительное удлинение, δ, %	16
Относительное сужение, ψ, %	40
Ударная вязкость, *KCU,* кДж/м^2	450

Габаритные размеры детали: длина – 800 мм, диаметр – 40 мм. Масса детали – 7,83 кг.

Деталь работает в условиях динамической нагрузки.

2.3. Анализ дефектов и оценка пригодности детали

При анализе состояния детали, прежде всего, возникают вопросы: к какой группе должна быть отнесена деталь, и какие критерии использовать для этого?

К *первой* группе (годные для повторного использования) относят детали с износом в пределах допуска на изготовление или имеющих отклонения в пределах, допустимых техническими требованиями на дефектацию и ремонт, а также с незначительными повреждениями (мелкие царапины или вмятины).

Ко *второй* группе (подлежащие восстановлению) относят детали с износом, превышающим допустимые значения, или с повреждениями, устранение которых (с учетом служебного назначения детали) по техническим и экономическим соображениям целесообразно (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Дефекты второй группы и способы их устранения

Дефекты деталей и узлов	Способы устранения дефектов
Размеры деталей соответствуют чертежам или техническим требованиям на дефектацию и ремонт, но требуется доводка	Довести поверхности деталей до требуемой чистоты путем зачистки шкуркой, шлифования, полирования
Износ поверхностей деталей больше допустимого техническими требованиями на дефектацию и ремонт	Восстановить поверхности до требуемых размеров согласно чертежам основного производства или ремонтным чертежам способами: ремонтных размеров, электродуговая наплавка под слоем флюса и в среде защитных газов, вибродуговая наплавка, осталивание, хромирование, плазменное напыление, электроэрозионное наращивание, электромеханическое восстановление, заливка или наплавка цветным металлом, и др. с последующей механической обработкой
Детали, имеющие небольшие изгибы, вмятины	Восстановить поверхности механической обработкой
Трещины	Засверлить конец трещины, произвести ее разделку и заварку или заделку эпоксидной смолой
Деталь и ее элементы изогнуты	Удалить изгиб рихтовкой или правкой
Резьба на валу имеет забоины, вмятины, срыв одного витка	Удалить забоины, вмятины, прорезать плашкой или резцом
Износ и повреждение резьбы сверх допустимых норм	Удалить поврежденную резьбу, наплавить, произвести механическую обработку
Изношены или деформированы резьбовые отверстия	Переход на ремонтный размер; изготовить на новом месте; заварить и изготовить резьбу на том же месте и др.
Износ шпоночных пазов по ширине на валу и во втулке	При износе до 5 % исправить форму паза и изготовить усиленную шпонку с соблюдением характера посадки; с износом свыше 5 % восстановить сваркой или путем фрезерования паза на новом месте

Окончание табл. 2.2

Дефекты деталей и узлов	Способы устранения дефектов
Наличие на зубьях шестерен ступеней в результате износа, коррозии и забоин на зубьях	Исправление профиля зубьев фрезерованием или зубошлифованием
Износ зубьев сверх допустимых норм, а также: сколы на зубьях неответственных зубчатых колес	Наплавка или осталивание после предварительного исправления формы зубошлифованием, дополнительным корригированием

К *третьей* группе (неподлежащие восстановлению – брак) относят детали с повреждениями, устранение которых (с учетом служебного назначения детали) технически невозможно или экономически нецелесообразно. К третьей группе относятся, прежде всего, детали с изломом и неисправимыми деформациями (например, кручения), табл. 2.3.

Таблица 2.3

Признаки дефектов третьей группы (брак) для типовых деталей

Деталь	Признаки дефектов третьей группы (брак окончательный)
Валы и оси	Крупные трещины, излом, остаточные деформации
Зубчатые колеса	Сколы торцов и вершин на ряде зубьев, выкрашивание цементационного слоя, износ и поднутрение зубьев, в результате которых изношено свыше 80 % толщины цементационного слоя, износ зубьев свыше предельного
Подшипники качения	Трещины, выкрашивание колец и тел качения, цвета побежалости, коррозия, шелушение, раковины, выбоины на беговых дорожках и сепараторах, оспы и отслоения, неравномерный износ беговых дорожек, радиальные и осевые зазоры сверх допустимых значений
Шлицевые валы	Сколы и изломы шлицев
Шпоночные пазы на валу и во втулке	Сколы цементированных и закаленных пазов, износ свыше предельного

Сведения, касающиеся дефектов детали, студент получает в задании на курсовую работу. Эти данные следует занести в таблицу (пример оформления приведен в табл. 2.4).

Пример 3

Основными поверхностями вала, подвергшимися износу, являются шейки под шариковый и роликовый подшипники. После ремонта размеры шеек должны отвечать требованиям рабочего чертежа:

– диаметр шейки под шариковый подшипник должен быть равен $90(^{+0,11}_{-0,11})$.

Размер соответствует 6-му квалитету точности с отклонением *js*, т. е. диаметр $90\,js6(^{+0,11}_{-0,11})$. Шероховатость поверхности шейки *Ra* 0,2 мкм соответствует 9-му классу шероховатости.

Диаметр шейки под роликовый подшипник должен быть $100_{-0,022}$. Размер соответствует 6-му квалитету с отклонением *h*, т. е. $100h6(^{0}_{-0,022})$. Шероховатость поверхности шейки *Ra* 0,8 мкм (7-й класс шероховатости);

– отклонение от цилиндричности шеек под подшипник должно быть не более 0,01 мм, радиальное биение их относительно оси не более 0,03 мм.

Необходимо выявить, какие дефекты детали являются устранимыми при ремонте. Детали, имеющие неустранимые дефекты, восстановлению не подлежат.

Первоначально следует определить абсолютный износ (Δ_1**)** поврежденных поверхностей:

$$\Delta_1 = D_{ср} - P_ф\,, \qquad (2.1)$$

где $D_{ср}$ – средний номинальный размер; $P_ф$ – фактический размер данной поверхности, полученный в задании.

Полученные данные также следует занести в табл. 2.4.

Таблица 2.3

Признаки дефектов третьей группы (брак) для типовых деталей

Деталь	Признаки дефектов третьей группы (брак окончательный)
Валы и оси	Крупные трещины, излом, остаточные деформации
Зубчатые колеса	Сколы торцов и вершин на ряде зубьев, выкрашивание цементационного слоя, износ и поднутрение зубьев, в результате которых изношено свыше 80 % толщины цементационного слоя, износ зубьев свыше предельного
Подшипники качения	Трещины, выкрашивание колец и тел качения, цвета побежалости, коррозия, шелушение, раковины, выбоины на беговых дорожках и сепараторах, оспы и отслоения, неравномерный износ беговых дорожек, радиальные и осевые зазоры сверх допустимых значений
Шлицевые валы	Сколы и изломы шлицев
Шпоночные пазы на валу и во втулке	Сколы цементированных и закаленных пазов, износ свыше предельного

При анализе следует сопоставить фактические размеры ($P_ф$), полученные при измерении детали (приведены в задании) с предельными ($P_{пр}$), с тем, чтобы по анализируемому размеру отнести деталь к 1-й или 2-й группе, если деталь не имеет признаков окончательного брака, с которыми деталь относят к 3-й группе – (табл. 2.5).

Рекомендуемые нормы допустимых и предельных допусков на гладкие цилиндрические соединения приведены в таблице 2.5. Полученные данные также следует занести в таблицу анализа дефектов (см. табл. 2.4)**.**

Таблица 2.4

Сведения о дефектах детали

Наименование дефекта	Номинальный размер, мм	Фактический размер, мм	Предельный размер, мм	Абсолютный износ на сторону, Δ_1, мм	Примечание
Прогиб вала	–	0,11			
Износ шейки вала	90js6	119,4			
Износ шейки вала	100h6	149,6			

Таблица 2.5

Рекомендуемые нормы предельных и допустимых допусков на гладкие цилиндрические соединения в системе отверстия

Элементы	Характер посадки	Номинальные	Предельные
Отверстие	- с зазором	H6	H11
		H7	H11
		H8	H12
		H9	H12
		H11	3H12
		H12	5H12
	- переходные	Js7	1,5F7
		Js9	D10
Вал	- с зазором	h6	h11
		h8	h12
		h9	3h12
		h12	5h12
		f7	b12
		e7	1,25 b12
		e8	1,5 b11
		b12	5,25 b12
		d8	1,5 d11
		d9	5 d9
	- переходные	n6	h6
		m6	h6
		k6	g6
		k7	f8
		js6	f7
	- с натягом	u7	k6
		z6	k6
		s6	k7
		u8	k7
		s8	k7
		x8	k7

Например, для вала:
- $P_ф > P_{пр}$ – годные для повторного использования (1-я группа);
- $P_ф < P_{пр}$ – подлежат ремонту (2-я группа).

Для отверстия:
- $P_ф < P_{пр}$ – годные для повторного использования (1-я группа);
- $P_ф > P_{пр}$ – подлежат ремонту (2-я группа).

2.3.1. Валы и оси

Предельный износ шеек валов и осей, установленных на подшипниках скольжения, приводится в табл. 2.6, а шеек, сопряженных с подшипниками качения, не превышает 0,1 мм.

Таблица 2.6

Предельный износ элементов вала

Назначение вала	Номинальный диаметр шеек, мм				
	20 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 200
Валы и оси для: - зубчатых колес - ходовых колес и опорных роликов	 0,3 0,5	 0,4 0,7	 0,6 1,0	 0,8 1,2	 1 1,4
Оси для канатных блоков	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4

В сопряжениях типа вал-втулка предельный износ при посадках с зазором наступает после увеличения номинального зазора в 2 раза для ответственных соединений и в 3 – 4 раза для неответственных. При посадках с натягом предельный износ наступает в случае уменьшения натяга ниже максимально допускаемого.

2.3.2. Предельный прогиб вала

Предельные допустимые значения прогиба вала составляют 0,15 мм на 1 м длины, но не более 0,3 мм на всю длину вала при частоте вращения меньше 8,3 $с^{-1}$ и 0,1 мм на 1 м длины и 0,2 мм на всю длину вала при частоте вращения больше 8,3 $с^{-1}$.

Прогиб валов и осей менее 0,5 мм устраняют шлифованием, до 0,01 длины вала – правкой в холодном состоянии, при прогибе 0,02 – 0,03 длины вала и более – правкой в нагретом состоянии при температуре 600 – 650 °С.

2.3.3. Зубчатые колеса

Величины допустимых износов зубьев зависят от конструкции, условий работы зубчатых колес. В общем случае для зубчатых колес горных машин допустимый износ зубьев принимают в пределах 8 – 15 % их толщины, причем меньшее значение износа для зубьев быстроходных и сильнонагруженных зубчатых передач, большее – для тихоходных и малонагруженных.

В процессе износа зубчатых колёс изменяется толщина зуба и искажается его форма, что приводит к увеличению нагрузки на зубья при одновременном снижении их сопротивлению изгиба.

В связи с этим предельный износ зубьев стальных зубчатых колёс, работающих при окружных скоростях 3 м/с, принимают равным 3 – 10 % толщины зуба, измеряемой по начальной окружности (табл. 2.7).

Предельный износ тихоходных зубчатых колес наступает при достижении им 30 % по начальной окружности, быстроходных – 3 – 10 %. Для чугунных зубчатых колес эти цифры снижаются на 40 %. Если в зубьях есть упрочненный слой, то предельный износ наступает после его срабатывания до толщины слоя 0,2 – 0,25 мм.

В зубчатых колесах с цементированными зубьями выбраковочным признаком является растрескивание и выкрашивание цементированного слоя. Появление признаков выкрашивания последнего практически соответствует моменту его полного износа. Обычно при толщине цементированного слоя зубьев 1 мм наибольший износ не должен превышать 0,8 толщины этого слоя и 10 % толщины зуба. В табл. 2.7 приведены значения предельного износа зубьев зубчатых колес горного и строительного оборудования.

Таблица 2.7

Предельный износ зубьев зубчатых колес

Характер передачи мощности	Окружная скорость, м/с	Предельный износ, процент номинальной толщины зуба для ремонта	
		текущего	капитального
Длительный в одном направлении	2	12 – 15	25 – 30
	4	10 – 12	20 – 25
	5	8 – 10	15 – 20
С частым реверсированием	2	10 – 12	20 – 25
	4	9 – 11	15 – 20
	5	6 – 8	12 – 15

Примечание. Для чугунных зубчатых колес данные уменьшаются на 30 %.

Износ зубьев цементированных шестерен определяется в зависимости от толщины слоя цементации. Предельная величина износа в этих передачах берется такой, при которой толщина слоя цементации на зубьях остается не менее 0,2 – 0,25 мм. При этом возможны варианты:

а) зубья цементированы или закалены с нагревом ТВЧ. Предельный износ определяется в зависимости от глубины цементационного или закаленного поверхностного слоя:

$$\delta_{пр.} = 0{,}8 \cdot \delta_{ц}, \text{ мм},$$

где $\delta_{пр}$ – предельная глубина износа упрочненного поверхностного слоя зуба; $\delta_{ц}$ – глубина упрочненного слоя, мм.

б) зубья сырые или улучшенные (закалка с высоким отпуском). Предельный износ в этом случае принимается в зависимости от запаса прочности по изгибу:

$$\delta_{пр} = (0{,}1 – 0{,}24)m; \text{ или } \delta_{пр} = 0{,}25 \cdot S_c,$$

где $\delta_{пр}$ – предельный износ зуба с одной стороны, мм; S_c – номинальная толщина зуба по постоянной хорде, мм; m – модуль зуба, мм.

Предельные износы зубьев червячных передач составляют 8 – 10 % для червяков и 10 - 12 % для червячного колеса.

2.3.4. Цементированные шлицы

Среднее уменьшение толщины каждого шлица на рабочей длине соединения для вала или втулки допускается не более 0,2 мм при диаметре вала до 50 мм и не более 0,3 мм – при диаметре вала более 50 мм. При этом неравномерность износа допустима в пределах до 0,1 мм на 100 мм длины шлица. В шлицевых соединениях допускается увеличение бокового зазора, но не более 2 – 2,5 % значения, указанного в чертежах.

Предельный износ по толщине цементированных шлицев соответствует, мм:

$$\delta_{пр} = (0{,}2 - 0{,}4)\ \delta_{ц},$$

где $\delta_ц$ – глубина цементационного слоя, мм.

Предельный износ улучшенных шлицев эвольвентного профиля составляет, мм:

$$\delta_{пр} = (0{,}06 - 0{,}1)\ m;$$

а прямобочных – $\delta_{пр} = (0{,}03 - 0{,}05)\ b,$

где b – толщина шлицев, мм.

Износ центрирующих диаметров шлицев в отверстии $H8$ или $H9$ допускается до верхнего отклонения $H10$. Износ центрирующих диаметров шлицов на валах $h6$ допускается до нижнего отклонения $h9$; $h7$ – до нижнего отклонения $h10$ и $f7$ – до нижнего отклонения $f10$.

2.3.5. Шпоночные пазы

Боковой зазор в шпоночном соединении не допускается. При креплении с помощью шпонки детали не должны покачиваться на валу.

Для шпоночных пазов допустим износ (разбивка) по ширине в пределах 5 % номинального размера паза. В этом случае механической обработкой исправляют форму паза и используют усиленную шпонку. За пределами большего износа переход на усиленную шпонку недопустим.

Зазоры между верхней гранью шпонки и ступицей шпоночных соединений при диаметре вала 20 – 40 мм составляют 0,1 ÷ 0,3 мм; при 41- 80 мм – 0,1 ÷ 0,4 мм; свыше 80 мм – 0,1 ÷ 0,5 мм.

Шпоночные пазы, имеющие незначительный износ, обрабатывают под ремонтный размер, который не должен превышать номинальный более чем на 15 %. Соответственно изменяется и размер шпонки.

Ниже для иллюстрации материала приводятся примеры.

Пример 4

Диаметр шейки вала равен $100n6(^{+0,045}_{-0,023})$. Средний номинальный размер $D_{ср}$ составляет (100,045 + 100,023)/2 = 100,034. Из данных табл. 2.5 следует, что за предельную величину износа вала при посадке $n6$ следует принять размер, соответствующий $h6$, т. е. диаметр $100n6(^{0}_{-0,022)})$ мм. Тогда средний предельный размер равен (100,000 + 99,978)/2 = 99,989 мм.

Значение фактического диаметра $P_ф$ (согласно заданию) равно 99,030 мм. Сопоставляя фактический размер 99,030 со средним предельным – 99,989, видно, что фактический размер вышел за рамки предельного размера. Следовательно, вал соответствует второй группе и подлежит восстановлению.

Полученные данные заносим в табл. 2.8.

При этом абсолютный линейный износ вала на сторону составляет

$$\Delta_1 = [D_{ср} - P_ф]/2 = [(100,045 + 100,023)/2 - 99,030]/2 = 0,5 \text{ мм}.$$

Пример 5

По результатам измерений зубьев толщиной $S_с = 16,64^{-0,41}_{-0,77}$ фактическая ширина зубьев ($S_ф$) составляет 14,30 мм. Предельный износ зуба равен

$$И_{пр} = 2\delta_{пр} = 0,25 \cdot S_с = 0,25\ (16,23+15,87)/2 = 4,0125 \text{ мм}.$$

Тогда предельная ширина зуба составит:

$$S_{пр} = S_с - И_{пр} = (16,23+15,87)/2 - 4,0125 = 16,05 - 4,0125 = 12,037 \text{ мм}.$$

При этом абсолютное уменьшение толщины зуба составит

$$\Delta = S_с - S_ф = 16,05 - 14,30 = 1,75 \text{ мм}.$$

Вывод: поскольку $S_ф > S_{пр}$, размер зубьев находится в пределах допустимых значений, деталь относится к 1-й группе, т. е. годна без восстановления.

Таблица 2.8

Анализ дефектов детали

Наименование дефекта	Номинальный размер, мм	Фактический размер, мм	Предельный размер, мм	Абсолютный износ на сторону, Δ_1, мм	Примечание
Износ шейки вала	$100n6\left(^{+0,045}_{+0,023}\right)$	99,030	$100h6\left(^{0}_{-0,022}\right)$	1,004	$P_ф < P_{пр}$ подлежит ремонту
Износ …					

Пример 6

Дан шлицевой вал с центрирующим внутреннем диаметром $36e8^{-0,055}_{-0,089}$). Из данных табл. 2.5 следует, что за предельную величину износа вала при посадке $e8$ следует принять размер, соответствующий $1,5b11(^{-0,170}_{-0,330})$, т. е. размеру

$36(^{-0,255}_{-0,495})$мм. Фактический диаметр $P_ф$ в месте наибольшего износа составил 34,14 мм. Из сопоставления размеров видно, что износ превышает предельный. Абсолютный максимальный износ шлицев по внутреннему диаметру составил

$$\Delta_1 = (35{,}950+35{,}911)/2 - 34{,}140 = 1{,}79 \text{ мм}.$$

Выбор способа восстановления определяется аналогично примеру 3. Проанализируем параметр «*b*» (толщина шлица). Размер по чертежу равен:

$7f8(^{-0,013}_{-0,035})$, тогда $b_{ср} = (6{,}987+6{,}965)/2 = 6{,}976$ мм.

Принимаем предельный износ по толщине шлица равным $0{,}05 \cdot b$. Тогда предельная толщина шлица $b_{пр} = b_{ср} - 0{,}05 \cdot b = 6{,}976 - 0{,}05 \cdot 7 = 6{,}626$ мм, принимаем $b_{пр} = 6{,}23$. Фактическая толщина шлица $b_ф = 6{,}15$ мм.

Сопоставляя фактический размер с предельным, убеждаемся, что шлицы подлежат восстановлению. С учетом размеров, целесообразным способом восстановления можно признать вибродуговую наплавку на боковые поверхности шлицев. Данный способ исключает высокий нагрев, фазовые и структурные изменения в материале детали.

Износ по ширине шлица составит:

$$И_{iш} = b_{ср} - b_ф = 6{,}976 - 6{,}150 = 0{,}826 \text{ мм}.$$

Пример 7

Шпоночный паз с размером по чертежу $16H9$ ($^{+0,043}$). Фактическая ширина паза 16,93 мм. Следовательно, износ паза по ширине составляет

$$\Delta_1 = b_ф - b_{ср} = 16{,}93 - (16{,}000 + 16{,}043)/2 = 0{,}909 \text{ мм}.$$

Предельный износ паза соответствует величине

$$b_{пр} = b_{ср} + 0{,}05 \cdot b = 16{,}021 + 0{,}05 \cdot 16 = 16{,}021 + 0{,}80 = 16{,}821 \text{ мм}.$$

Сопоставляя фактический и предельный размеры, убеждаемся, что износ паза выше предельного. Паз можно заплавить и профрезеровать на новом месте.

2.4. Выбор способа восстановления деталей

2.4.1. Особенности технологического процесса восстановления деталей

В отличие от технологического процесса изготовления деталей, процесс их восстановления имеет специфические *особенности*. При изготовлении сырьем для готовой детали служит заготовка, в то время как при восстановлении заготовкой является сама деталь с измененными размерами, формой и свойствами материала.

Целью технологического процесса восстановления деталей является возвращение детали утраченной работоспособности.

Задачей проектирования технологического процесса восстановления деталей является выбор наиболее рационального способа, обеспечивающего необходимую долговечность детали при наименьшей стоимости ее восстановления в условиях данного предприятия.

Поверхности деталей могут быть восстановлены, как правило, несколькими способами. Наиболее прогрессивными являются способы, основанные на нанесении покрытия на поверхность детали.

Выбор рационального способа восстановления зависит от конструктивно-технологических особенностей деталей (формы и размера, материала и термообработки, поверхностной твердости и шероховатости), от условий ее работы (характера нагрузки, рода и вида трения) и величины износа, а также стоимости восстановления.

Для учета всех этих факторов выбор способа восстановления детали рекомендуется вести последовательно с *использованием трех критериев:*

- технологического критерия или критерия применимости;
- технического критерия или критерия долговечности;
- технико-экономического критерия.

Рассмотрим их по порядку.

2.4.2. Технологический критерий

Знание структурных характеристик деталей, условий их работы и эксплуатационных свойств способов ремонта позволяет, в первом приближении, решить вопрос о применимости того или иного из них для восстановления отдельных деталей. При помощи такого анализа можно установить, какие из деталей могут восстанавливаться всеми или несколькими способами и какие по своим структурным характеристикам допускают только один способ восстановления.

Технологический критерий (критерий применимости) учитывает, с одной стороны, особенности подлежащих восстановлению поверхностей деталей, а с другой – технологические возможности соответствующих способов восстановления, т. е. определяет принципиальную возможность применимости того или иного способа восстановления к конкретным деталям (табл. П4.1 и П4.2).

Технологический критерий не может быть выражен числом и является по существу предварительным, поскольку при его помощи нельзя решить вопрос выбора рационального способа восстановления деталей, если этих способов может быть несколько.

Происходит сравнение технологических возможностей способов ремонта с теми требованиями, которые выдвигает данный дефект детали. Так, например, при помощи данного критерия заранее можно сказать, что детали небольшого диаметрального размера, имеющие высокую поверхностную твердость и незначительные износы (стержни клапанов и толкателей, шейки валов коробки передач под подшипники качения и т. п.), нерационально восстанавливать металлизацией и наплавками – ручной электродуговой и автоматической под слоем флюса. Внутренний диаметр 20 мм невозможно восстановить автоматизированной наплавкой, а коррозию поверхности не восстановить пластическим деформированием.

Отобранные по этому критерию способы восстановления должны удовлетворять трём условиям:

1) по своим технологическим особенностям они должны быть приемлемы к данной детали;

2) устранять имеющиеся дефекты;

3) способность данного способа восстановления обеспечить требуемую толщину наносимого покрытия

$$t_{тр} < t_{м}, \quad (2.2)$$

где $t_{тр}$ – требуемая толщина наносимого покрытия на сторону, мм;

$t_{м}$ – толщина наносимого покрытия на сторону, обеспечиваемая данным методом (табл. П4.3).

Требуемую толщину наносимого покрытия можно примерно оценить следующим образом:

$$t_{тр} = \delta_{max} + Z, \quad (2.3)$$

где δ_{max} – максимальный износ поверхности на сторону;

Z – суммарный припуск на сторону на механическую обработку (табл. П4.3).

Пример 8

Оценить с позиций технологического критерия восстановления внешней цилиндрической поверхности 45*k*7, изношенной до 44,4 мм. Вал работает в условиях динамических нагрузок.

Для восстановление детали можно применить нескольких способов:

- Осталивание.

Обладает хорошими технико-экономическими показателями, высокой производительностью и относительной дешевизной.

- Хромирование.

Обладает хорошими технико-экономическими показателями, высокой поверхностной твердостью и износостойкостью.

- Наплавка в среде защитного газа.

В качестве защитной среды используется углекислый газ или водяной пар. Обеспечивает восстановление стальных и чугунных деталей диаметром более 12 мм, работающих в различных условиях. Восстановлению подлежат как гладкие, так и шлицевые валы.

- Плазменная наплавка.

Обеспечивает восстановление стальных и чугунных ответственных деталей.

- Газопламенное напыление (металлизация).

Наружные и внутренние цилиндрические поверхности неподвижных сопряжений при невысоких требованиях к прочности сцепления с основным материалом. Обеспечивает восстановление изношенных мест под неподвижные и подвижные посадки. Ограниченное применение для деталей, испытывающих динамические нагрузки.

- Наплавка под слоем флюса.

Наплавка деталей диаметром более 50 мм при повышенных требованиях к качеству наплавленного материала с толщиной наплавленного слоя более 1 мм.

Поскольку вал работает в условиях динамических нагрузок, то способ восстановления металлизацией (газопламенным напылением) не подходит.

Наплавка под слоем флюса также не подходит, так как диаметр вала меньше 50 мм.

Оставшиеся способы проверяем по толщине наносимого покрытия. Износ поверхности на сторону: $\Delta_1 = (45 - 44{,}4)/2 = 0{,}3$ мм. Суммарный припуск на сторону на механическую обработку Z берем согласно таблице П4.3. Полученные результаты заносим в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Выбор способов восстановления по технологическому критерию

Способ восстановления	$t_м$, мм	Z, мм	$t_{тр}$, мм	$t_{тр} < t_м$,
Осталивание	3,0	0,1	0,4	Да
Хромирование	0,3	0,1	0,4	Нет
Наплавка в среде углекислого газа	3	2	2,3	Да
Плазменная наплавка	4	2	2,3	Да

Из анализа таблицы следует, что при износе вала 0,3 мм на сторону его можно восстановить наплавкой в среде углекислого газа, плазменной наплавкой и осталиванием, но нельзя восстановить хромированием. Хромирование не проходит отбор по данному критерию.

2.4.3. Технический критерий (критерий долговечности)

Технический критерий, в отличие от критерия применимости, численно выражается через коэффициент долговечности для каждого из способов восстановления и каждой конкретной детали (табл. П4.4, П4.5). Долговечность деталей, восстановленных теми или иными способами, зависит от эксплуатационных свойств покрытия. Наиболее рациональными способами будут те из них, которые обеспечивают наибольшую долговечность восстановленной детали.

После отбора способов, которые могут быть применены для восстановления той или иной изношенной поверхности детали, исходя из технологических соображений, отбирают те из них, которые обеспечивают наибольший последующий межремонтный ресурс этих поверхностей, т. е. удовлетворяют требуемому значению коэффициента долговечности $K_д$.

Коэффициент долговечности $K_д$ в общем случае является функцией трех других коэффициентов:

$$K_д = f(K_и\, K_в\, K_{сц}), \qquad (2.4)$$

где $K_и$ – коэффициент износостойкости; $K_в$ – коэффициент выносливости; $K_{сц}$ – коэффициент сцепляемости.

Для численного выражения критерия долговечности необходимо рассмотреть сравнительные характеристики эксплуатационных свойств способов.

В табл. П4.5 представлены значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости для наиболее распространенных методов восста-

новления. Коэффициент долговечности $K_д$ численно принимается равным значению того коэффициента, который имеет наименьшую величину.

При выборе способов восстановления применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численное значение коэффициента долговечности определяется только численным значением коэффициента износостойкости.

Чтобы обеспечить работоспособность восстановленной детали в течение всего межремонтного периода, коэффициент долговечности должен превышать значение 0,8 (больше не требуется). Поэтому из числа способов, отобранных по технологическому критерию, к дальнейшему анализу принимаются те, которые обеспечивают коэффициент долговечности восстановленных поверхностей не менее 0,8.

Пример 9

Рассмотрим способы восстановления коленчатого вала диаметром 80h9, прошедшие технический критерий. Данные сведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Выбор способов восстановления по техническому критерию

Способ восстановления	Коэффициенты			
	$K_и$	$K_в$	$K_ц$	$K_д$
Осталивание	0,9 – 1,2	0, 8	0,65 – 0,8	0,7
Наплавка в среде углекислого газа	0,85	0,9 – 1,0	1,0	0,9
Плазменная наплавка	1,0 – 1,5	0,8 – 1,3	1,0	0,9
Постановка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0	0,8

Способ восстановления коленчатого вала осталиванием не подходит, так как $K_д < 0,8$.

2.4.4. Технико-экономический критерий

Первые два критерия выражают техническую часть задачи без учета экономической целесообразности того или иного способа. Поэтому необходима еще оценка способов восстановления при помощи экономического критерия, определяемого стоимостью восстановления деталей. Окончательное решение вопроса выбора рационального способа производится при помощи технико-экономического критерия, связывающего долговечность детали с экономикой ее восстановления.

Из всех прошедших отбор по техническому и технологическому критериям способов выбирают тот, у которого коэффициент экономической эффективности ($K_{эф}$) будет наименьшим

$$K_{эф} = C_у / K_д , \qquad (2.5)$$

где $K_д$ – коэффициент долговечности восстановленной поверхности; $C_У$ – удельная себестоимость восстановления, руб/м^2 (табл. П4.6).

Полученные результаты следует занести в таблицу.

Пример 10

Рассмотрим способы восстановления шпоночного паза шириной 5 мм, прошедшие технический и технологический критерии (табл. 2.11).

Минимальное значение $K_{эф}$ = 500 соответствует хромированию. Следовательно, выбираем данный способ.

Предварительно отобранные методы восстановления для каждого дефекта по техническому, технологическому и технико-экономическому критериям рекомендуется свести в таблицу и ранжировать по значению технико-экономического показателя. Заканчивается анализ окончательным выбором способа восстановления всей детали, в наибольшей степени удовлетворяющего всем трем критериям.

Таблица 2.11

Сравнение способов восстановления

Способ восстановления	$C_у$, руб/м^2	$K_д$	$K_{эф}$
Вибродуговая наплавка	800 – 1000	0,82	1451,6
Плазменное напыление	1000 – 1400	0,5	2400
Электромеханическая обработка	800 – 900	1,1	727,8
Хромирование	400 – 900	1,3	500

Пример 11

Из проведенного анализа заданной детали для каждого вида дефекта был выбран способ восстановления, прошедший технический, технологический и технико-экономический критерии. Для окончательного выбора способа восстановления всей детали, в наибольшей степени удовлетворяющего всем трем критериям, данные сведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Выбор способа восстановления по техническому критерию

Дефект поверхности	Выбранный способ восстановления	$K_{эф}$
Износ шейки вала	Наплавка под слоем флюса	1625
Износ шпоночного паза	Вибродуговая наплавка	1451
Срыв двух ниток резьбы	Плазменное напыление	2400

Окончательно, для восстановления всей детали, выбираем вибродуговую наплавку, так как ей соответствует минимальное значение коэффициента экономической эффективности.

2.4.5. Рекомендации по выбору способов восстановления деталей

По результатам работы ремонтных предприятий можно дать некоторые общие рекомендации по выбору рациональных способов восстановления деталей, применительно к различным видам сопряжений.

Для деталей *неподвижных соединений* при нанесении слоя толщиной 0,02 – 0,08 мм целесообразно применять электроискровое наращивание и осталивание.

Для деталей *подвижных соединений:*

- работающих в условиях трения-скольжения, при нанесении слоя толщиной до 1 мм, рационально хромирование и твердое осталивание;
- при толщине нанесения до 2 мм лучше всего вибродуговая наплавка и металлизация; при восстановлении деталей, входящих в группу подвижных соединений и работающих в условиях трения-качения;
- при толщине нанесения слоя 2,5 – 3 мм рекомендуется применять вибродуговую наплавку;
- при толщине нанесения слоя свыше 3 мм – автоматическую электродуговую сварку под слоем флюса или вибродуговую наплавку.

2.5. Разработка маршрута восстановления детали

При разработке технологического маршрута ремонта следует выбрать методы восстановления и обработки поверхностей, определить состав и содержание операций, в том числе назначить число и последовательность переходов, а также определить тип применяемого оборудования. В курсовой работе разрабатывается технологический процесс, исходя из необходимости устранения всех дефектов детали.

Разработка технологического маршрута может быть представлена следующей схемой:

1. Если технологические базовые поверхности детали нарушены или отсутствуют, то в первую очередь необходимо их обработать.
2. Затем восстанавливают другие поверхности в последовательности, обратной их степени точности.
3. Заканчивается обработка поверхностью, которая является наиболее точной и имеет наибольшее значение для детали.
4. При наличии термической или химико-термической обработки, она выделяется в отдельную операцию.
5. Контрольные операции выполняют в конце технологического процесса ремонта детали, и после выполнения наиболее ответственных операций.

Другими словами, первоначально выполняются работы по восстановлению базовых поверхностей, затем грубые и черновые (сварка, наплавка, обдирка и т. п.) и, наконец, чистовые отделочные операции. В начале технологического процесса выполняют подготовительные операции: очистку, обезжиривание, правку и восстановление базовых поверхностей.

Следует иметь в виду, что перед нанесением покрытия необходимо проводить механическую обработку поверхности детали, чтобы пространственно разделить межфазную границу «покрытие-деталь» и плоскость действия наибольших касательных напряжений. В противном случае, при дальнейшей механической обработке или при эксплуатации может произойти локальное или

полное отделение покрытия от детали, что сведет на нет все усилия по её восстановлению.

Затем производят наращивание изношенных поверхностей (наплавку, металлизацию и др.). При этом в первую очередь выполняют операции, связанные с нагревом детали до высокой температуры (сварку, наплавку, термическую обработку). Затем выполняют операции, не требующие нагрева деталей (хромирование, осталивание и др.). После «наращивания» выполняют операции механической обработки ремонтируемых деталей.

Необходимо учитывать, что *механическая обработка в условиях ремонтного производства имеет ряд особенностей:*

- нестабильность физико-механических свойств по поверхности восстанавливаемой детали и неравномерность припусков на обработку;
- значительную твердость и хрупкость большинства видов покрытий.

Полученные данные рекомендуется свести в таблицу. В качестве примера в табл. 2.13 приведен вариант технологического маршрута восстановления коленчатого вала двигателя автомобиля, размеры шеек которого вышли за пределы «последнего» ремонтного размера, поэтому их восстанавливают наплавкой.

Таблица 2.13

Технологический маршрут восстановления коленчатого вала

Номер операции	Наименование	Содержание операции	Оборудование
05	Моечная	Промыть и очистить	Моечная машина
10	Дефектовочная	Выявить трещины на шейках вала	Магнитоэлектрический дефектоскоп
15	Слесарная	Править вал	Пресс
20	Токарная	Расточить отверстие под подшипник	Токарный станок
25	Запрессовывание	Запрессовать втулку в отверстие под подшипник	Пресс
30	Токарная	Расточить отверстие во втулке	Токарный станок
35	Наплавочная	Наплавить шатунные и коренные шейки	Установка для автоматической наплавки
40	Круглошлифовальная	Шлифовать шейки вала предварительно (начерно)	Круглошлифовальный станок
45	Круглошлифовальная	Шлифовать шейки вала окончательно (начисто)	Круглошлифовальный станок

Для ремонта детали составляют обычно несколько вариантов маршрутного технологического процесса (обычно 2 – 3 варианта), сопоставив которые, выбирают оптимальный. Варианты могут отличаться методами восстановления и обработки поверхностей, технологическими базами, последовательностью

восстановления и обработки поверхностей и выполнения операций, применяемым оборудованием и др.

Одним из критериев выбора маршрута технологического процесса служит анализ точности ремонта, в соответствии с которым для реализации принимают маршрут, обеспечивающий получение детали с заданными параметрами качества (точности).

2.6. Расчет припусков при восстановлении детали

При назначении режимов обработки восстанавливаемых поверхностей деталей машин необходимо рассчитать толщину снимаемого слоя при удалении износа с поверхности детали и значение величины наносимого слоя, компенсирующего износ и обеспечивающего получение номинального размера поверхности детали ($D_н$), с заданными требованиями по точности и шероховатости.

Расчётная схема при определении величины слоя наносимого материала при восстановлении работоспособности поверхности (наружной цилиндрической) приведена на рис. 2.1.

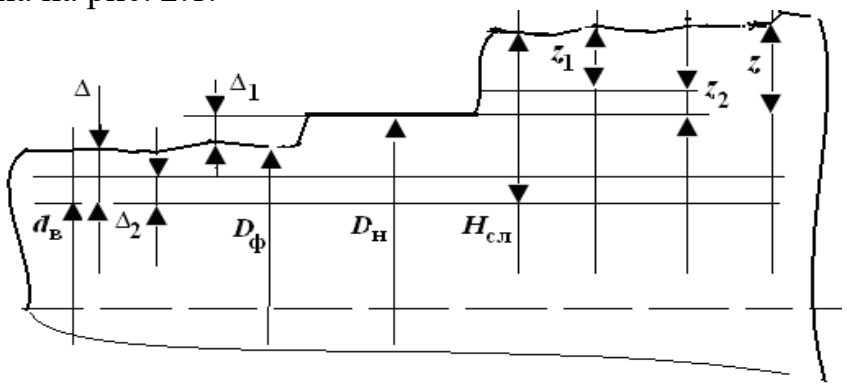


Рис. 2.1. Схема расчета наносимого слоя при восстановлении поверхности: $H_{сл}$ – толщина слоя наносимого материала; Δ – толщина снимаемого слоя; $Δ_1$ – величина износа; $Δ_2$ – толщина дефектного слоя материала; z – припуск на механическую обработку, z_1 – припуск на черновую обработку; z_2 – припуск на чистовую обработку; $d_в$ – диаметр поверхности, подготовленной к восстановлению, $D_н$ – номинальный размер; $D_ф$ – фактический размер

Толщина наносимого слоя $H_{сл}$ зависит от требований по точности и шероховатости размера восстанавливаемой поверхности и определяется величиной толщины снимаемого слоя Δ и припуском на последующую механическую обработку z:

$$H_{сл} = Δ + z\ . \qquad (2.6)$$

Толщина снимаемого слоя с изношенной поверхности перед восстановлением определяется износом поверхности $Δ_1$ и толщиной дефектного слоя $Δ_2$. Толщина дефектного слоя принимается равной $0{,}1Δ_1$. Тогда

$$Δ = Δ_1 + Δ_2 = Δ_1 + 0{,}1Δ_1 = 1{,}1\ Δ_1. \qquad (2.7)$$

Припуск на механическую обработку z включает в себя припуски на черновую z_1 и чистовую z_2 обработки (табл. П4.6, П4.7). Припуски на черновую z_1

и чистовую z_2 обработки определяются в зависимости от требований по точности и шероховатости номинального размера поверхности и во многом зависят от способа устранения дефекта поверхности (сварка, наплавка, металлизация, электролитические покрытия и т. д.).

Таким образом, величина слоя материала, наносимого на изношенную поверхность, зависит от величины износа, квалитета точности и класса шероховатости номинального размера поверхности и способа восстановлении износа. Как правило, чем ниже квалитет точности поверхности и выше класс шероховатости поверхности, тем величина слоя материала, наносимого на изношенную поверхность, больше (требуется большее количество переходов при обеспечении номинального значения размера, восстанавливаемой поверхности).

Значения всех припусков сводятся в таблицу. Полученное значение величины толщины наносимого слоя $H_{сл}$ для всех способов восстановления, кроме электрохимического и химического, округляется в большую сторону до целого числа $H^*_{сл}$. Увеличение величины $H^*_{сл}$ следует учесть при расчетах режимов резания.

3. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

3.1. Требования к материалам

Восстановление изношенной поверхности детали предполагает нанесение покрытия, основные эксплуатационные свойства которого близки к свойствам изношенного слоя. Обычно используют тот же материал, из которого изготовлена восстанавливаемая деталь. Исключение составляет чугун. При восстановлении деталей из чугуна используется сталь 20.

Формирование на изношенной поверхности покрытия, полностью идентичного по химическому составу, структуре и свойствам изношенному слою, является, как правило, технически сложной и экономически нецелесообразной задачей. Поэтому нанесенные покрытия значительно отличаются от металла изношенного слоя.

При выборе материала для защитного покрытия руководствуются следующей исходной информацией:

– воздействию каких видов изнашивания подвержена деталь;

– из какого материала изготовлена деталь;

– какой технологический процесс предпочтителен;

– каковы свойства восстановленной поверхности;

– какова допустимая стоимость восстановления.

Определяющими являются эксплуатационные свойства поверхностного слоя детали, которые, в свою очередь, зависят от условий эксплуатации и характера разрушения. Условия работы восстанавливаемых и упрочняемых деталей разнообразны (табл. 3.3 [1]).

Для обеспечения высокой стойкости против разрушения при различных видах изнашивания наплавленный металл по структуре и свойствам должен отвечать требуемым свойствам. Свойства материала определяются химическим составом и структурой.

3.2. Металлическая проволока и лента

Стальная сварочная проволока согласно ГОСТ 2246-70 делится на низкоуглеродистую, легированию и высоколегированную. Предусмотрено 77 марок проволок диаметром 0,3–12 мм. Проволоку применяют для наплавки, электроконтактной приварки и газотермического напыления [1].

Для механизированной наплавки по ГОСТ 10543-98 выпускается специальная *наплавочная проволока* типа Нп диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4.0; 5,0; 6,5 и 8,0 мм. Наплавочная проволока разделена на три группы: из углеродистых сталей, из легированных сталей и высоколегированных сталей (табл. 3.7 [1]). На практике в наплавочных работах находит также применение стандартная сварочная проволока по ГОСТ 2246-70 и проволока, предназначенная для изготовления пружин по ГОСТ 9389-75.

Проволока для напыления. Для газотермических покрытий применяют сварочную и наплавочную (Св-О8Г2С, Св-07Х19Ц9ТЮ, НП-65Г, НП-4ОХ13 и

др.) проволоку. За рубежом ряд фирм выпускают специальную проволоку для газотермических покрытий. Фирма «Metco» (в настоящее время «Sulzer Metco», Швейцария) длительное время занимается разработкой технологии и проволочных материалов для газотермических покрытий (табл. 3.8 [1]).

3.3. Штучные электроды и прутки

Наплавочные покрытые электроды представляют собой электродный стержень с толстым электродным покрытием. Как правило, для электродного стержня применяют низкоуглеродистую сварочную проволоку, а требуемый химический состав наплавки формируется за счет легирующих порошков, вводимых в электродное покрытие. Электроды применяют для ручной электродуговой наплавки различных деталей. Предпочтительна наплавка на постоянном токе обратной полярности. Реже применяется наплавка на переменном токе.

В группу электродов для наплавки входят электроды, предназначенные для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды изготовляют и поставляют в соответствии с требованиями ГОСТ 9466-75 и 1005-75. Для наплавочных работ в некоторых случаях также используют сварочные электроды, например электроды, предназначенные для сварки высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных сталей.

Согласно ГОСТ 10051-75 электроды для наплавки по химическому составу наплавленного металла и твердости при нормальный температуре классифицированы на 44 типа [1].

К группе электродов для сварки и наплавки чугуна относятся электроды, предназначенные для устранения дефектов в чугунных отливках с помощью холодной сварки и наплавки, а также электроды, используемые при ремонте вышедшего из строя оборудования и восстановлении изношенных деталей. В табл. 3.11 [1] представлены электроды, которые применяются для сварки и наплавки алюминиевых, медных и никелевых сплавов.

Наплавочные прутки. Прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Прутки получают литьем. Их изготовляют диаметром 4; 6; 8; 10: 12; 14 и 16 и длиной 250; 300; 350; 400; 450 и 500 мм.

Литые прутки используют также для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой наплавки (табл. 3.12 [1])), например, марки ГН-1 со стержнем из сплава Сормайт и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК.

Присадочные прутки, используемые при сварке чугуна, в зависимости от назначения (ГОСТ 2671-70) ШИКП марки ПЧ1, ПЧ2, ПЧН1, ПЧН2 и др.

3.4. Порошки

Номенклатура порошковых материалов для наплавки и напыления включает металлические и композиционные порошки, порошковые смеси, тугоплавкие соединения (рис. 3.6 [1]).

В табл. 3.15 [1] представлены марки порошков высокоуглеродистых легированных сплавов. Эти наплавочные сплавы применяются для упрочнения и восстановления деталей машин, систем гидравлических приводов и др. Они наносятся плазменной и индукционной наплавкой. Сплавы ПР-Х30ГСР и ПР-ФМИ могут также наплавляться газопламенной горелкой с добавлением флюса в ее факел.

Наиболее распространенными самофлюсующимися порошками являются сплавы на основе никеля, легированные бором и кремнием. Они отличаются высокими технологическими свойствами и низкой температурой плавления, что позволяет наплавлять стальные детали на воздухе. Покрытия стойки к воздействию агрессивных сред, повышенных температур, износоустойчивы при трении по металлу со смазкой и без нее, а также при абразивном изнашивании. По уровню износостойкости покрытия из самофлюсующихся сплавов в 3–5 раз превосходят закаленные инструментальные стали. По американской спецификации эти сплавы называют Колмонои, а в Японии – Фукудалои.

В табл. 3.19- 3.21 [1] представлены марки и области применения самофлюсующихся порошков на никелевой основе, в разное время выпускавшихся в СНГ и за рубежом.

Специфические свойства присущи *порошкам тугоплавких соединений.* К ним относятся карбиды, оксиды, бориды, нитриды, интерметаллиды и их комбинации. Наиболее часто их применяют для напыления газотермических покрытий. Широко используют оксиды и карбиды. По сравнению с другими высокотемпературными материалами оксиды имеют наиболее низкую тепло- и электропроводность, но значительную прочность при высоких температурах.

Сочетание положительных свойств различных типов порошков и получение частиц, удовлетворяющих комплексу требований, реализуется в *композиционных порошках.* В зависимости от конструкции различают плакированные и конгломератные композиционные частицы. Первые представляют собой исходную частицу одного из материалов, на поверхности которой расположен слой или несколько слоев других материалов. Конгломератная частица сформирована из множества исходных частиц нескольких материалов.

3.5. Порошковая проволока и ленты

Порошковая проволока состоит из мягкой тонколистовой металлической оболочки и сердцевины, которая представляет собой смесь порошков ферросплавов, чистых металлов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразующих и стабилизирующих горение дуги веществ. Наиболее распространенный диаметр порошковой проволоки 2,6 – 3,6 мм, однако для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром до 8 мм.

Порошковую проволоку выпускают четырех типов: для наплавки под флюсом, в среде защитных газов, в атмосфере воздуха, универсальную. В странах СНГ изготовляют легированную и высоколегированную порошковую проволоку, обеспечивающую износостойкую и коррозионно-стойкую наплавку (табл. 3.27 [1]).

Ленточные электроды позволяют повысить производительность процесса наплавки и уменьшить глубину проплавления основного металла. Холоднокатаную ленту можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготовляют спеченную и порошковую ленты. *Спеченную металлокерамическую ленту* на железной основе производят из смеси металлических порошков ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси и последующего спекания в защитной среде.

Важными преимуществами проволочного и стержневого процессов по сравнению с порошковым являются нагрев материала до жидкого состояния и нанесение на поверхность изделия покрытий из таких расплавленных частиц с высокой скоростью. При напылении некоторых материалов (оксидов) скорость полета частиц достигает 200 м/с. Полученные таким образом покрытия по прочности и плотности не уступают плазменным, а стоимость их ниже плазменных в 2 – 3 раза.

3.6. Синтетические материалы

В настоящее время на ремонтных предприятиях большое количество различных деталей машин изготовляют из полимерных материалов. Например, подшипники опорных катков экскаваторов и тракторов, втулки шарниров рессорных подвесок грузовых автомобилей, втулки ходовых колес кранов, штуцера, манжеты, прокладки и другие детали гидравлических систем, блоки грузоподъемных машин, рабочие органы насосов и вентиляторов, детали воздухоочистителей, фрикционных муфт, зубчатые и червячные колеса и др.

При выборе пластиков необходимо учитывать следующие основные требования. Физико-механические свойства выбираемых пластиков должны быть близки к свойствам материала детали или соответствовать нагрузкам, которые возникают в сопряжениях. Износостойкость пластиков должна быть не ниже износостойкости восстанавливаемых деталей. Адгезия (прилипаемость) пластиков к материалу детали должна быть высокой. Для повышения адгезии возможно применение различных клеев. При выборе пластиков необходимо учитывать размер и направление усадки пластмассового слоя. Направление сил усадки пластмассы должно совпадать с направлением сил адгезии, т. е. усадка должна улучшать сцепление слоя пластмассы с материалом детали.

На поверхности деталей пластмассу наносят намазкой, напылением, оплавлением и др. способами.

Не рекомендуется покрывать пластмассой сопрягаемые поверхности валов и отверстий одновременно, в связи с тем, что пластмассы плохо отводят тепло.

3.7. Выбор и определение нормы расхода материала

По своему назначению материалы для восстановления деталей подразделяются на основные и вспомогательные. Выбранные материалы – наплавочная проволока, лента, порошок, флюс, технологические газы – должны обеспечивать выполнение технических требований к восстановленной детали, изложенных на ремонтном чертеже. Современные способы восстановления деталей характеризуются разнообразием применяемых материалов. Их назначение и характеристики даны в специальной справочной и учебной литературе [1, 7, 9]. Марки и назначение основных материалов для дуговой сварки и наплавки приведены в прил. 5.

Для ручной дуговой сварки и наплавки применяются различные электроды. Марки, типы электродов, их назначение даны в справочнике [1]. Там же приведены марки и назначение стальной наплавочной и сварочной проволоки.

В последние годы при восстановлении деталей в больших объемах применяют порошковые проволоки и ленты. Марки и назначение порошковых спеченных лент даны в справочнике [1]. Для дуговой наплавки применяются плавленые и керамические флюсы и их смеси.

Норму расхода основных и вспомогательных материалов для восстановления деталей рассчитывают различными методами, в том числе опытно-экспериментальным и опытно-статистическим. Допускается определение нормы расхода материалов по типовым технологическим процессам или литературным источникам, путем их пересчета к конкретной детали. Нормы расхода материалов сводят в таблицу.

Для примера в табл. 3.1 даны нормы расхода порошковых материалов, необходимых для устранения различных дефектов распределительного вала двигателя СМД-62 газопламенным напылением.

Таблица 3.1

Нормы расхода порошковых материалов при восстановлении распределительного вала двигателя СМД – 62 газопламенным напылением

Наименование дефекта	Марка порошка	Норма расхода на 1 деталь, кг
Износ поверхностей опорных шеек	ПТ-НА-01 (подслой)	0,03
	ПГ-19М-01 (основной слой)	0,09
Износ поверхностей кулачков	ПГ-10Н-01	0,6

4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Выбор технологического оборудования во многом зависит от типа производства. В условиях единичного производства используют универсальные станки, а при серийном производстве применяют универсальные станки, станки с ЧПУ. В условиях массового производства используют специальное технологическое оборудование.

При проектировании технологических *процессов выбор станка производят по следующим показателям:*

- типу производства, размеру партии обрабатываемых деталей;
- виду обработки (токарная, фрезерная, сверлильная и т. п.);
- требованиям к точности, шероховатости и экономичности обработки;
- площади рабочей зоны станка, габаритным размерам детали, расположением обрабатываемых поверхностей;
- габаритным размерам станка (высота и расстояние между центрами, размеры стола);
- точности и жесткости станка;
- частоте вращения шпинделя;
- скорости подачи;
- мощности станка.

Выбор технологической оснастки производится на основе анализа возможности реализации технологического процесса при выполнении технических требований к детали, технических возможностей оснастки, а также конструктивных характеристик детали и восстанавливаемых поверхностей и др.

Выбор оборудования и технологической оснастки производится по специальным каталогам или справочникам [1, 4, 5, 8]. Технические характеристики некоторых установок для наплавки деталей даны в прил. 6.

Например

1. Наплавочная, наплавлять поверхность 3. Станок – сварочный полуавтомат НДГ-312УЗ. Патрон трехкулачковый 7100-0009, ГОСТ 2675-80, центр вращающийся, ГОСТ 8742-75, штангенциркуль ШЦ-II-160-0,02, ГОСТ 166-80, наплавочная проволока Св-08А, флюс 7И-348-В.
2. Токарная, точить поверхность 2. Станок токарно-винторезный 1Л62, патрон трехкулачновый 7100-0009, ГОСТ 2675-80, центр вращающийся, ГОСТ 8742-75, штангенциркуль ШЦ-II-160-002 ГОСТ 166-80.
3. Фрезерная, фрезеровать шпоночный паз, поверхность 3. Станок вертикально фрезерный 6Б12ПБ, патрон цанговый 6151-0003, ГОСТ 3025-75, тиски 7827-0259, ГОСТ 4045-75, фреза концевая 2252-0152 Р18, ГОСТ 7063-75. Штангенциркуль ШЦ-II-160-002, ГОСТ 166-80.

После выбора оборудования и оснастки для проектируемого технологического процесса восстановления детали заполняют ведомость и приводят

техническую характеристику. Пример ведомости оборудования и оснастки по технологическому процессу восстановления деталей типа «вал» газопламенным напылением порошковых материалов дан в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ведомость оборудования и оснастки для восстановления деталей типа «вал» газопламенным напылением порошковых материалов

Наименование оборудования и оснастки	Обозначение
Аппарат для напыления	021-4 ВНПО «Ремдеталь»
Вращатель	011-1-09 «Ремдеталь»
Установка для струйной обработки деталей	026-7 «Ремдеталь»
Станки токарные и круглошлифовальные	3В1161, 3А151, 3Б12, 3А423
Печь для сушки порошка	ТХ8-1479
Набор сит с сетками	N-01, N 004, №-0071
Стол сварщика	Мод. С 10020 «Ремдеталь»
Стеллаж	ОРГ-1468-06-92А

Основной задачей, стоящей перед студентом при выборе моделей станков, является достижение наивысшей производительности, заданной точности деталей, наименьшей себестоимости их обработки. При этом необходимо помнить, что разные станки дают различную точность обработки. Нельзя, например, получить на обычном токарном станке при обработке резцом валик с допуском 0,01 мм по диаметру. В то же время эту точность легко получить на шлифовальном станке.

С целью экономного расходования электроэнергии обработку небольших деталей следует планировать на станках меньших размеров, имеющих соответственно менее мощные электродвигатели.

Выбор технологической оснастки. К технологической оснастке относятся станочные приспособления, вспомогательный, режущий, слесарный инструмент и средства контроля.

В зависимости от выбранного типа производства определяют систему приспособлений, рекомендуемую для применения в данных условиях.

Универсальные многоцелевые, широко переналаживаемые приспособления выбираются по справочной литературе, например [8]. При этом необходимо учитывать размеры посадочных мест приспособлений, чтобы они подходили к выбранным моделям станков, а также возможности соответствующих приспособлений, позволяющие устанавливать в них детали, для которых разрабатывается технологический процесс.

В зависимости от вида обработки, свойств обрабатываемого материала, точности обработки и качества обрабатываемой поверхности детали выбирают тип, конструкцию и размеры режущего инструмента, например: «Резец проходной Т5К10». При выборе резцов указывают сечение державки и геометрические параметры режущей части. Материал режущего инструмента выбирают в зависимости от вида обработки, материала и твердости детали [4, 8].

Выбор абразивного инструмента производится с учетом того, что для обработки сталей используются круги из электрокорунда, а для чугунов и цветных металлов из карбида кремния. Конкретные рекомендации по выбору абразивных инструментов можно найти в [4, 8]. Выбор шлифовального круга производится в зависимости от вида обработки поверхности, твердости и материала обрабатываемой детали.

Например, резец токарный проходной упорный отогнутый с углом 90° с пластинами из твердого сплава Т15К6.

h = 20 мм; l = 120 мм; B = 16 мм; r = 1 мм.
Круг шлифовальный ПВК 23А 32П С1 К1 35 м/с.
$D_к$ = 600 мм; $B_к$ = 63 мм; ГОСТ2424-84.

Вспомогательный инструмент предназначен для закрепления режущего инструмента в соответствующих посадочных местах металлорежущих станков. Он должен иметь, с одной стороны, посадочные поверхности и элементы крепления, соответствующие режущему инструменту, а с другой – установочные поверхности и элементы крепления, соответствующие посадочным местам станков.

Если применяются специальные приспособления (неразборные специальные приспособления – НСП), то следует иметь в виду, что такие приспособления необходимо проектировать самостоятельно в соответствии с существующими методиками. Специализированные, стандартные системы приспособлений могут быть следующих видов: универсально-сборные приспособления (УСП), сборно-разборные (СРП), универсальные наладочные (УНП), специализированные наладочные (СНП).

При разработке технологического процесса восстановления детали необходимо выбрать те приспособления и инструменты, которые способствуют повышению производительности труда, точности обработки, улучшению условий труда, ликвидации предварительной разметки детали и выверке ее при установке на станке.

5. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Принятые режимы операций (особенно нанесение покрытий) существенно влияют на ресурс восстановленных деталей. Поэтому они должны обеспечивать выполнение технических требований к детали, изложенных на ремонтном чертеже. Параметры режимов нанесения покрытий различными способами приведены в справочной и технической литературе [1–3, 6, 11].

Режим обработки определяют отдельно для каждой операции с разбивкой ее на переходы.

5.1. Наплавка

Наплавка на деталь металла позволяет не только восстановить первоначальные свойства изделия, но и придать ему совершенно новые ценные качества. Цель наплавки может быть различной: восстановление утраченной геометрии детали или придание ей новой формы, образование поверхностного слоя с заданными физико-механическими свойствами (такими как повышенная твердость, износостойкость, антифрикционность, коррозионная стойкость, жаростойкость и пр.), упрочнение наплавкой.

Наплавку можно производить на любые поверхности - плоские, конические, цилиндрические, сферические. В больших пределах может меняться и ее толщина - от нескольких долей миллиметра до сантиметра и более.

5.1.1. Дуговая наплавка под флюсом и в среде защитных газов

Дуговая наплавка под флюсом и в среде защитных газов является наиболее распространенным способом восстановления деталей в ремонтном производстве не только в России, но и за рубежом. Марка флюса и проволоки определяется требованиями, предъявляемыми к наплавленному слою. Детали из малоуглеродистых и низколегированных сталей наплавляют проволокой диаметром 1,2 – 1,5 мм марок Св-0,8, Св-10А, Нп-30, Нп-40 и др., а из легированных сталей – марок Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА, порошковыми проволоками марок ПП-3Х2В8, ПП-Х42ВФ и др. Высокую износостойкость наплавленного слоя можно получить наплавкой проволоки Нп-2Х13.

Для наплавки применяют плавящиеся марганцовистые флюсы марок АН-318А и ОСЦ-45, с помощью которых наплавляемый слой легируется марганцем, повышающим его твердость, вязкость и износостойкость. Наплавкой проволокой Св-08 под керамическим флюсом АНК-19 можно получить твердость наплавленной поверхности HRC 45-49.

Наплавка под слоем флюса широко применяются при восстановлении валов, осей и других деталей диаметром более 50 мм, имеющих износ более 1 – 1,5 мм на сторону. Наплавка деталей диаметром до 50 мм затруднена из-за стекания металла, осыпания флюса, возможности прижога и коробления.

Отличительной особенностью процесса автоматической сварки под флюсом является то, что сварочная дуга горит не на открытом воздухе, а под слоем

зернистого сыпучего флюса. Электродная проволока подаётся вниз в зону наплавки со скоростью её плавления, плавится и переходит на деталь в виде отдельных капель.

Расплавленный флюс образует плотную эластичную оболочку – флюсогазовый пузырь, поверх которого находится слой жидкого шлака.

Процесс широко применяется для восстановления цилиндрических поверхностей деталей. Режимы наплавки характеризуются силой тока, напряжением, скоростью наплавки, скоростью подачи проволоки, шагом наплавки, вылетом и смещением электрода. Силу тока при наплавке определяют в зависимости от диаметра детали (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Зависимость тока при наплавке от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока, А	
	при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2–1,6	2–2,5
50–60	120–140	140–160
65–75	150–170	180–220
80–100	180–200	230–280
150–200	230–250	300–350
250–300	270–300	350-380

Основные параметры режимов наплавки определяют по следующим формулам:

- *скорость наплавки*, м/ч

$$V_{н} = \frac{\alpha_{н} \cdot I}{h \cdot s \cdot \gamma}, \quad (5.1)$$

- *частота вращения детали*, об/мин

$$n_{д} = \frac{1000 \cdot V_{н}}{60 \cdot \pi \cdot d}, \quad (5.2)$$

- *скорость подачи проволоки*, м/ч

$$V_{пр} = \frac{4 \cdot \alpha_{Н} \cdot I}{\pi \cdot d_{пр}^{2} \cdot \gamma}, \quad (5.3)$$

- *шаг наплавки*, мм/об

$$S = (2 - 2{,}5) \cdot d_{пр}, \quad (5.4)$$

- *вылет электрода*, мм $\delta = (10 - 12) \cdot d_{пр}$, (5.5)

- *смещение электрода*, мм $l = (0{,}05 - 0{,}07) \cdot d$, (5.6)

где $\alpha_{н}$ – коэффициент наплавки, г/А·ч (при наплавке постоянным током обратной полярности $\alpha_{н} = 11 – 14$); h – толщина наплавленного слоя, мм; γ – плотность электродной проволоки, г/см^3 ($\gamma = 7{,}85$); $d_{пр}$ – диаметр электродной проволоки, мм; I – сила тока, А; d – диаметр детали, мм.

Ориентировочные параметры режимов наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей даны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Режимы наплавки цилиндрических деталей (толщина слоя 1,0 – 1,2 мм)

Параметр	Диаметр детали, мм			
	10 ÷20	20 ÷30	40 ÷50	90 ÷100
Сила тока, А	70 ÷ 90	85 ÷110	110 ÷ 180	100 ÷300
Скорость наплавки, м/ч	40÷ 45	40 ÷45	30 ÷ 35	70 ÷ 80
Смещение электрода, мм	2 ÷ 4	3÷ 5	6÷ 10	8÷ 10
Шаг наплавки, мм/об	2,5÷3,0	2,8÷ 3,2	3,0÷3,5	5,0 ÷7,0
Вылет электрода, мм	7÷10	8 ÷11	10÷15	20÷27

5.1.2. Вибродуговая наплавка

Вибродуговой наплавкой восстанавливают большую номенклатуру деталей типа «вал» и др. Параметры режима нанесения покрытий определяют по следующим формулам:

сила тока, А

$$I = \frac{\pi \cdot d_{\text{пр}}^{\,2}}{4(60 \div .75)}, \tag{5.7}$$

скорость подачи электродной проволоки, м/ч

$$V_{\text{пр}} = \frac{0{,}1 \cdot I \cdot U}{d_{\text{пр}}^{\,2}}, \tag{5.8}$$

где $d_{\text{пр}}$ – диаметр проволоки, мм; U – напряжение, В (U = 14÷20 В);

скорость наплавки, м / ч

$$V_{\text{н}} = \frac{0{,}785 \cdot d_{\text{пр}}^{\,2} \cdot V \cdot \eta}{h \cdot S \cdot \alpha}, \tag{5.9}$$

где η – коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл (η = 0,8 ... 0,9); h – толщина наплавленного слоя (без механической обработки) мм; S – шаг наплавки, мм/об; α – коэффициент, учитывающий отклонения фактической площади сечения наплавленного слоя от площади четырехугольника с высотой h (α = 0,8);

- *шаг наплавки*, мм/об

$$S = (1{,}6 \div 2{,}2) d_{\text{пр}}, \tag{5.10}$$

- *амплитуда колебаний*

$$A = (0{,}75 \div 1{,}0) d_{\text{пр}}. \tag{5.11}$$

5.1.3. Плазменная наплавка

При плазменной наплавке расчет таких параметров режима, как скорость, частота вращения, толщина покрытий рекомендуется выполнять по формулам, принятым для расчета режима наплавки под слоем флюса.

Наибольшее применение для плазменной наплавки деталей получили сормайт, сплавы ФБХ–9–2, Ус–25, ПГ–СР3 и СНГН–50. Технологические режимы плазменной наплавки деталей при работе с аргоном следующие: сила тока 150 – 200 А; напряжение холостого хода 120 – 160 В, рабочее напряжение 40 – 45 В; расход плазмообразующего газа 1,5 – 2,5 л/мин, расход транспортирующего газа 5 – 7 л/мин. Расход защитного газа 15 – 20 л/мин; скорость наплавки 0,15 – 0,18 м/мин, расстояние от горелки до детали 10 – 18 мм; число колебаний горелки в минуту 40 – 100.

Рациональное значение силы тока при плазменной наплавке находится в пределах 200 – 230 А. Коэффициент наплавки $\alpha_н$ = 10 – 13 г/А·ч.

Расход порошка определяется по формуле

$$Q = 0{,}1 \cdot V_н \cdot S \cdot h \cdot \gamma \cdot K_п \,, \qquad (5.12)$$

где Q – расход порошка, г/с; S – шаг наплавки, мм/об (S = 0,4 – 0,5); h – толщина наплавленного слоя, мм; γ – плотность наплавленного металла, г/см^3.

Для порошковых твердых сплавов на железной основе γ = 7,4; для сплавов на никелевой основе – γ = 0,8; $K_п$ – коэффициент, учитывающий потери порошка, $K_п$ = 1,12 – 1,17

5.2. Наварка ленты и проволоки

Часто применение металлизации не оправдано из-за слишком большого размера пятна напыления, из-за чего невозможно восстанавливать узкие шатунные шейки. В этих случаях применяется наварка ленты и проволоки. Процесс контактной наварки ленты производится на специальных установках совместным деформированием навариваемого металла и поверхностного металла, нагретых в очаге деформации до пластического состояния короткими (0,02 – 0,16 с) импульсами тока 7 – 30 мА. Образуемые при этом сварочные точки располагаются по винтовой линии и частично перекрывают друг друга, что достигается вращением детали со скоростью, пропорциональной частоте импульсов, и продольным перемещением сварочных клещей.

Наибольшее распространение контактная наварка проволоки нашла для восстановления резьбовых участков валов. Диаметр проволоки подбирают таким, чтобы при наварке она полностью заполнила впадину резьбы и выступала на величину припуска, необходимого для последующей обработки. Учитывая износ витков резьбы, продольную подачу сварочных клещей принимают равной шагу резьбы.

Частота вращения детали, продольная подача сварочных клещей и частота следования импульсов являются важными параметрами процесса, определяющими его производительность. Соотношение этих величин подбирают так, чтобы обеспечить 6 или 7 сварочных точек на 1 см длины сварного шва. Режимы приварки ленты приведены в табл. 5.3.

Частоту вращения детали, норму времени на наплавку рассчитывают аналогично расчету этих параметров при наплавке под слоем флюса.

Таблица 5.3

Рекомендуемые режимы приварки ленты, толщиной 1 мм

Сила сварочного тока, кА	16,1 – 18,1
Длительность сварочного цикла, с	0,04 – 0,08
Длительность паузы, с	0,1 –0,12
Подача сварочных клещей, мм/об	3 – 4
Усилия сжатия электродов, кН	1,30 –1,60
Ширина рабочей части сварочных роликов, мм	4
Скорость наплавки, м/мин.	3 – 4

5.3. Нанесение электролитических покрытий

Восстановление деталей электролитическими покрытиями заключается в нанесении на изношенную поверхность детали металла путем электролиза.

Толщина осажденного покрытия

$$h = \frac{cJ_k t\eta}{1000\gamma}, \qquad (5.13)$$

где $J_к = I/S$ – катодная плотность тока, А/дм^3; γ – плотность осаждаемого металла, г/см^3; c – электрохимический эквивалент, г/А·ч; η – выход по току или к. п. д. процесса, % (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Электрохимический эквивалент и выход по току или к. п. д.

Параметр	Элемент					
	Fe	Cr	Ni	Cu, кислый электролит	Cu, цианистый электролит	Zn
Электрохимический эквивалент, г/А·ч	1,042	0,324	1,095	1,186	2,372	1,220
Выход по току или к. п. д., %	85–95	13–18	90	98	98	92

Электрохимическим эквивалентом называется количество вещества в граммах, выделившегося на катоде за 1 А·ч.

По приведенной формуле можно определить продолжительность электролиза при заданной толщине покрытия. Придание анодам формы, соответствующей форме детали, способствует более равномерному распределению осадка, так как при этом расстояние участков катодов (деталей) от анода получается более равномерным.

5.3.1. Хромирование

Для восстановления деталей широкое распространение получило хромирование. Хромированием восстанавливают детали с износом до 0,3 мм на сторону, работающие при значительных удельных давлениях, больших скоростях

скольжения, поверхности которых должны обладать высокой твердостью, термокоррозионной и износостойкостью.

В качестве анода при хромировании применяют нерастворимый в электролите сплав свинца и сурьмы (5 – 10 %). Площадь анодов должна быть в 1,5 – 2 раза больше площади катода, а форма должна повторять форму детали, что повышает равномерность покрытия. Требуемое расположение анодов в ванне относительно катодов обеспечивается с помощью подвесных приспособлений.

При хромировании используют различные электролиты (табл. 5.5). Время хромирования 90–380 мин.

Таблица 5.5

Состав электролитов и режимы хромирования

Компоненты и параметры режима	Номер электролита				
	1	2	3	4	5
Хромовый ангидрид, г/л	120÷150	220÷250	300÷350	225÷300	380÷ 420
Серная кислота, г/л	1,2÷ 1,5	2,2÷2,5	3÷3,5	–	–
Температура электролита, °С	50÷60	45÷60	4÷ 50	50÷ 65	18÷25
Плотность тока, А/дм^2	30÷100	20÷60	15÷ 30	40÷100	100÷300
Выход по току, %	15÷18	12÷14	8÷10	18÷20	35÷ 40

После нанесения слоя хрома поверхность подвергают шлифованию и полировке.

5.3.2. Осталивание

Для восстановления деталей широкое распространение получило осталивание (железнение). При осталивании применяют аноды из малоуглеродистой стали толщиной 5 – 9 мм, материал которых постепенно переносится на поверхность детали. Осталиванием восстанавливают отверстия в корпусных деталях, шейки валов агрегатов трансмиссий, валики приводов насосов, шкивы, катки, кронштейны, ступицы, чугунные втулки и другие детали с износом до 3 мм на сторону.

Процесс осталивания по сравнению с хромированием имеет более высокую производительность. Он дает возможность получать покрытия толщиной до 3 мм, не требует дефицитных химических реактивов. Выход по току в этом процессе равен 85–95 %, скорость осаждения 0,3 – 0,6 мм/ч, расход электроэнергии – 1,5 кВт·ч/дм^2. Предел прочности осажденного покрытия составляет 350–450 МПа, пластичность 5–10 %, твердость НВ 100–240 (в зависимости от состава электролита и условий электролиза). Твердость осадков при осталивании увеличивается при снижении концентрации солей в электролите, росте плотности тока, понижении температуры, введении в электролиты различных органических и минеральных добавок.

Процесс осталивания осуществляется в водных растворах хлорида или сульфата железа (табл. 5.6). Растворимые аноды изготовляют из малоуглеродистой стали.

Таблица 5.6

Состав распространенных электролитов и режимы осталивания

Компоненты и параметры режима	Номер электролита		
	1	2	3
Хлористое железо, г/л	300÷350	400÷600	150 ÷200
Сернокислое железо, г/л	–	–	200
Аскорбиновая кислота, г/л	–	0,5÷2,0	–
Кислотность, pH	0,8÷1,2	0,5÷ 1,3	0,6 ÷1,2
Температура электролита, °С	70÷ 80	20 ÷ 50	30÷ 50
Плотность тока, А/дм^2	20÷50	10÷ 30	20 ÷ 25
Выход по току, %	85÷ 95	85÷92	85÷ 92

К недостаткам способа осталивания относятся: сравнительно слабое сцепление наносимого слоя с основным металлом и малая твердость осажденного слоя без термической обработки.

5.4. Механическая обработка

5.4.1. Особенности режимов механической обработки

Процесс восстановления деталей может быть условно разделен на два этапа. На первом этапе восстанавливают геометрические размеры детали различными способами, среди которых наибольшее применение нашли способы, основанные на нанесении на изношенную поверхность покрытий. На втором этапе проводят последующую механическую обработку нанесенных покрытий.

Механическая обработка при восстановлении деталей имеет специфические особенности. После механической обработки поверхности детали должны иметь не только заданные размеры, правильную геометрическую форму, требуемую шероховатость, но и соответствующее расположение обработанных поверхностей относительно базовых поверхностей и по отношению друг к другу.

Выбор баз при восстановлении осложняется тем, что обработке подвергается не заготовка с соответствующими припусками, а деталь с неравномерно изношенными поверхностями и остаточными деформациями.

Технологические базы деталей, установленные в процессе изготовления, в большинстве своем сохраняются. Однако в ряде случаев они могут быть повреждены, а в некоторых случаях и вовсе отсутствовать. При базировании деталей на изношенные или повреждённые базовые поверхности погрешности установки детали возрастают, что не позволяет обеспечить требуемую точность обработки. Поэтому механическую обработку деталей надо начинать с проверки и исправления базовых поверхностей. Если необходимо использовать рабочие поверхности детали в качестве базовых, то выбирают те из них, которые не изношены. В том случае, когда первоначальные базы вообще отсутствуют, обработку начинают или с восстановления баз, или, если это возможно, выбирают такие поверхности, которые имеют наиболее точные размеры и связаны жёсткими допусками с обрабатываемой поверхностью.

При выборе баз для обработки восстанавливаемых деталей *необходимо руководствоваться следующими правилами:*

- принимать в качестве базовых те поверхности, которыми определяется положение детали в узле;
- базовые поверхности должны быть связаны наиболее жёсткими допусками с обрабатываемыми поверхностями деталей;
- при обработке нескольких поверхностей необходимо стремиться к соблюдению единства баз, т. е. к обработке всех поверхностей при одной и той же установочной базе;
- выбранная база должна обеспечить минимальную деформацию детали от условий резания и закрепления.

5.4.2. Обработка под ремонтный размер

При восстановлении деталей обработкой под ремонтный размер обычно обрабатывают наиболее сложную и дорогостоящую деталь, а сопрягаемую с ней заменяют новой или восстановленной также до ремонтного размера. Различают ремонтные размеры категорийные (регламентированные) и нерегламентированные. Регламентированные ремонтные размеры и допуски на них устанавливает предприятие-изготовитель. Детали с регламентированными размерами выпускает промышленность: поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, вкладыши подшипников шеек коленвала. Значение и число регламентированных ремонтных размеров зависят от износа деталей за межремонтный период, припуска на механическую обработку, запаса прочности детали или глубины термической обработки ее поверхностного слоя.

Расчетные формулы для определения ремонтных размеров для наружных и внутренних цилиндрических поверхностей (валов и отверстий) имеют вид [6 – 8, 12, 17, 18]:

$$d_{\text{рп}} = D_{\text{н}} - \gamma\, n;$$

$$D_{\text{рп}} = D_{\text{н}} + \gamma\, n, \qquad (5.14)$$

где $d_{\text{н}}$ и $D_{\text{н}}$ – соответственно номинальный размер вала и отверстия по рабочему чертежу, мм; n – номер ремонтного размера; γ – ремонтный интервал, мм;

$$\gamma = 2\,(U \cdot \beta + Z_{\text{о}}),$$

где $\beta = (0{,}5–1{,}0)$ – коэффициент неравномерности износа (табл. 5.7); U – максимальный износ на диаметр, мм; $Z_{\text{о}}$ – общий припуск на механическую обработку на сторону, мм.

Число ремонтных размеров определяют по следующим формулам:

- *для валов*

$$n_{\text{в}} = \Delta_d / \gamma,$$

- *отверстий*

$$n_{\text{о}} = \Delta_D / \gamma\,, \qquad (5.15)$$

где Δ_d и Δ_D – соответственно допустимое уменьшение диаметра вала и увеличение диаметра отверстия, мм:

$$\Delta_{\underline{d}} = d_{\text{н}} - d_{\min};$$

$$\Delta_D = D_{max} - D_н, \quad (5.16)$$

где d_{min} – минимально допустимый диаметр вала, мм; D_{max} – максимально допустимый диаметр отверстия, мм.

Для определения величины ремонтного размера при обработке восстанавливаемой детали можно использовать следующие зависимости:

- *для наружной цилиндрической поверхности (вала)*

$$d_р \le d_и - \gamma, \quad (5.17)$$

- *внутренней цилиндрической поверхности (отверстия)*

$$D_р \ge D_и + \gamma, \quad (5.18)$$

где $d_и$, $D_и$ – наибольший предельный размер вала и наименьший размер отверстия, мм. В частном случае, если деталь не подвергалась восстановлению («новая»), то $d_и = d_н$, $D_и = D_н$.

Таблица 5.7

Коэффициент β неравномерности износа деталей

Деталь	Изнашиваемая поверхность	Коэффициент β
Коленчатый вал	Коренные и шатунные шейки	0,75
Гильза цилиндров	Отверстие гильзы	0,60
Картер коробки передач	Посадочные гнезда подшипников	0,90

Пример 12

Определить ремонтный размер коренных шеек коленчатого вала двигателя автомобиля при следующих исходных данных: $d_и$ = 75,0 мм; β = 0,75; U = 0,03 мм.

Припуск на шлифование шеек коленчатого вала при ремонте примем 0,05 мм [1, 5].

Ремонтный интервал

$$\gamma = 2\ (0{,}75 \cdot 0{,}03 + 0{,}05) = 0{,}15 \text{ мм}.$$

Ремонтный размер

$$d_р \le d_и - \gamma\ ;$$
$$d_р = 75{,}0 - 0{,}15 = 74{,}85 \text{ мм}.$$

Первый и второй категорийные ремонтные размеры коренных шеек коленвала двигателя составляют $74{,}95_{-0{,}02}$ и $74{,}7_{-0{,}02}$ мм соответственно. Первый размер превышает значение $d_р$, поэтому обработать коленвал под этот регламентированный размер невозможно, следовательно, коленвал целесообразно обрабатывать под второй регламентированный ремонтный размер, равный $74{,}7_{-0{,}02}$ мм.

Толщину слоя металла, наносимого на поверхность восстанавливаемых деталей, рассчитывают по формуле:

$$t_{тр} \ge \Delta + Z_о\ ,$$

где Δ – износ детали (односторонний), т. е. $U/2$, мм.

5.4.3. Постановка дополнительной детали

При ремонте постановкой дополнительной детали посадочный диаметр ($d_п$) сопрягаемых поверхностей ремонтируемой и дополнительной детали определяется:

- при ремонте наружной цилиндрической поверхности детали (вала)

$$d_п = d_ф - 2Z; \quad (5.19)$$

- при ремонте внутренней цилиндрической поверхности (отверстия)

$$d_п = D_ф + 2Z, \quad (5.20)$$

где $d_ф$ и $D_{ф.}$ – фактические размеры вала и отверстия соответственно, мм; Z – суммарный припуск (см. табл. П4.3). Минимально допустимую толщину дополнительной ремонтной детали (втулки) определяют из условия прочности

$$\delta_1 = \frac{p n_з d_п}{2[\sigma]}, \quad (5.21)$$

где p – давление в контакте поверхностей ремонтируемой и дополнительной детали, Па; δ_1 – минимальная толщина дополнительной ремонтной детали (втулки), мм; [σ] – допускаемое напряжение для материала втулки, Па [4]:

$$n_з = \sigma_т / [\sigma], \quad (5.22)$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала втулки, Па [4].

Толщину втулки δ рассчитывают исходя из ее минимально допустимой толщины δ_1 и величины припуска на обработку z_o:

$$\delta = \delta_1 + z_o . \quad (5.23)$$

Припуск на обработку поверхностей ремонтируемых деталей может быть назначен по справочным таблицам.

Значение p определяется из уравнения

$$p = \frac{2M}{\pi \cdot d_п^2 \cdot l \cdot f}, \quad (5.24)$$

где M – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м; l – длина контакта сопрягаемых поверхностей, м; f – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания (табл. П5.2). Принимать $M = 40$ Н·м.

По полученным значениям p определяется необходимое значение наименьшего расчетного натяга N_{min} (мкм):

$$N_{min} = p d_п \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (5.25)$$

где N_{min} – расчетный натяг; E_1 и E_2 – модули упругости материалов соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, Па, (табл. П5.3); C_1 и C_2 – коэффициенты Ляме, определяемые по формулам

$$C_1 = \frac{d_n^{\,2} + d_1^2}{d_n^{\,2} - d_1^2} - \mu_1 ; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d_n^2}{d_2^2 - d_n^{\,2}} + \mu_2 , \quad (5.26)$$

где μ_1 и μ_2 коэффициенты Пуассона соответственно охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей, (табл. П5.3).

Максимальное допустимое удельное давление P_{max}, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях деталей, определяется как наименьшее из двух значений:

$$P_1 = 0{,}58\sigma_{T1}\left[1-\left(\frac{d_1}{d_п}\right)^2\right], \qquad P_2 = 0{,}58\sigma_{T2}\left[1-\left(\frac{d_п}{d_2}\right)^2\right], \tag{5.27}$$

где $\sigma_{т1}$ и $\sigma_{т2}$ – предел текучести материалов охватываемой и охватывающей деталей.

Наибольший расчетный натяг (мм):

$$N_{max} = P_{max} d_п \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right). \tag{5.28}$$

При сборке соединения неровности контактных поверхностей деталей срезаются и сглаживаются; для компенсации этого действительный натяг соединения $N_д$ должен быть больше расчетного натяга N, вычисляемого по формуле (5.28). Зависимость между $N_д$ и N_{max} определяется формулой

$$N_д = N_{max} + 1{,}2(Rz_1 + Rz_2), \tag{5.29}$$

где Rz_1 и Rz_2 – высоты неровностей профилей сопрягаемых поверхностей.

По величине $N_д$ подбирают соответствующую стандартную посадку, у которой для надежности соединения наименьший натяг N_{min} должен быть равен $N_д$ или очень близок к нему [13]. Выбирается посадка из таблиц системы допусков и посадок при следующих условиях: $N_{max} \le [N_{max}]$ и $N_{min} > [N_{min}]$.

Необходимое усилие при запрессовке (F, Н) собираемых деталей рассчитывается по формуле

$$F = 10^{-6} \cdot f \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot p, \tag{5.30}$$

где f – коэффициент трения при запрессовке (табл. П5.2); d – диаметр контактируемых поверхностей; l – длина запрессовки; p – давление на поверхности контакта.

Коэффициенты трения при запрессовке зависят от материала сопрягаемых деталей, чистоты поверхностей контакта, величины p_1, наличия и характера смазки.

5.4.4. Правка

Детали, у которых во время эксплуатации появились остаточные деформации (изгиб, коробление), подлежат правке. Существует *два способа правки: статическая правка и объемной чеканкой.*

Статическая правка может производиться в холодном состоянии или с нагревом.

Для повышения качества холодной правки применяют в основном следующие способы.

1. Выдерживание детали под прессом в течение длительного времени из-за опасности обратного действия (при холодной правке возникают неуравновешенные внутренние напряжения, которые со временем, уравновешиваясь, приводят к объемной деформации детали).

2. Двойная правка детали заключается в первоначальном перегибе детали с последующей правкой в обратную сторону.

3. Стабилизация правки детали последующей термообработкой.

Усилие холодной правки можно определить по формуле

$$P = 6{,}8\frac{\sigma_т d^3}{l}\ , \qquad (5.3)$$

где P – усилие холодной правки, Н; $\sigma_т$ – предел текучести материала выправляемой детали, Па; d – диаметр выправляемой детали, мм; l – расстояние между опорами или призмами правильного пресса, мм.

Горячая правка производится при необходимости больших деформаций детали. Нагрев 600 – 800 °С. После правки необходимо произвести термическую обработку детали.

Правка объемной чеканкой осуществляется с применением молотов. От наносимых ударов в поверхностном слое детали возникают местные напряжения сжатия, которые вызывают устойчивую деформацию.

6. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

6.1. Особенности механической обработки восстановленных деталей

Механическая обработка деталей при ремонте является не только способом восстановления, как, например, при ремонте под ремонтный размер, но и необходимой стадией предварительной обработки для придания детали правильной геометрической формы, снятия дефектного слоя, специальной подготовки поверхности под нанесение различного рода покрытий, а также как окончательная стадия обработки восстанавливаемых деталей.

Механическая обработка ремонтных заготовок применяется для подготовки поверхностей под нанесение покрытий, обеспечения точности восстанавливаемых элементов, а также для упрочнения поверхностей. Эта обработка является основным средством достижения точности геометрических параметров деталей (их номинальных и ремонтных размеров, формы, взаимного расположения, шероховатости и волнистости поверхностей). На операции механической обработки приходится 40 – 60 % общей трудоемкости восстановления деталей.

Механическая обработка заготовок при восстановлении деталей отличается от изготовления деталей из отливок, проката или поковок. Это объясняется такими причинами: преднамеренным разрушением некоторых технологических баз в конце процесса восстановления деталей, износом или повреждением группы баз во время работы машины, деформацией деталей в эксплуатации; небольшими значениями толщины припусков, материал которых, как правило, отличается от материала основы различием в свойствах припусков при изготовлении и восстановлении деталей, требованием обеспечения необходимой точности взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при восстановлении, и поверхностей, обрабатываемых при изготовлении, а при восстановлении остающихся необработанными.

Механическая обработка восстановительно-упрочняющего покрытия включает следующие операции: черновые, чистовые и отделочные. Восстанавливаемые поверхности в зависимости от толщины и твердости сминаемого слоя проходят лезвийную и (или) абразивную обработку.

6.2. Базирование деталей

Механическая обработка в условиях ремонтного производства имеет ряд специфических особенностей – отсутствие или износ первичных технологических баз, нестабильность физико-механических свойств, например, твердости по поверхности восстанавливаемых деталей и припусков на обработку, значительная твердость и хрупкость большинства видов покрытий, широкая номенклатура обрабатываемых деталей.

Точность обработки деталей во многом зависит от правильного выбора установочных баз и применяемых приспособлений. При восстановлении деталей желательно использовать те же базы, что и при их изготовлении. Однако

ввиду их повреждения или уничтожения это условие выполнить нельзя. В этом случае установочные базы исправляют или выбирают новые. При выборе новых установочных баз необходимо исходить из условия обеспечения требований технических условий по точности, положению осей и поверхностей детали в узле, качеству обработки.

Последовательность выполнения данного раздела:

– изучить рабочий чертеж детали для выявления размеров, по которым в процессе обработки должна быть обеспечена требуемая чертежом точность;

– определить для каждого размера конструкторскую базу;

– разработать схему базирования детали, при которой конструкторская база выдерживаемого размера по возможности совмещалась бы с технологической базой;

– определить схему базирования на первой операции механической обработки (подготовка, или восстановление основных технологических баз) и на последующих операциях.

Выбор баз (технологической, конструкторской, измерительной) производится в соответствии с ГОСТ 3.1107-81 и 21495-76.

Выбор схем базирования и схем установки детали при восстановлении производится с использованием схем, приведенных в ГОСТ 21495-76 и 3.1107-81.

При выборе баз руководствуются следующими положениями:

– за технологические базы целесообразно принимать центровые отверстия валов, плоскости или (и) технологические отверстия в корпусных деталях, точные цилиндрические поверхности в дисках и втулках и т. п.;

– при восстановлении отдельных поверхностей за технологическую базу принимают основные или вспомогательные поверхности, которые сохранились и не подлежат восстановлению;

– если в процессе восстановления деталь должна быть обработана по всем основным и вспомогательным поверхностям, то за технологическую базу необходимо принять такую, от которой можно обрабатывать все основные и вспомогательные поверхности за одну установку. Если такой возможности нет, то технологической базой должна быть поверхность (или совокупность поверхностей), которая позволяет обработать с одной установки, в первую очередь, основные или вспомогательные поверхности;

– принятая технологическая база должна сохраняться на всех операциях технологического процесса, если это невозможно, то за следующую базу необходимо принимать обработанную поверхность детали, которая имеет точные размерные связи с поверхностью, обрабатываемой на последующих операциях;

– при выборе технологической базы необходимо помнить, что поверхность или совокупность поверхностей, принятых за технологические базы, должна лишить деталь минимально необходимого и в то же время достаточного числа степеней свободы. В соответствии с теорией базирования деталь должна быть лишена шести степеней свободы, в том числе и за счет обеспечения силового замыкания.

В зависимости от точности размеров на данной операции технологические базы могут быть сформированы одной, двумя или тремя поверхностями. Однако при этом нужно учитывать некоторые особенности процесса восстановления детали по сравнению с изготовлением. А именно: технологические базы деталей, установленные в процессе их изготовления, в большинстве своем сохраняются, и только в ряде случаев они бывают изношенными, или вовсе отсутствуют. При базировании деталей на изношенные поверхности погрешность базирования возрастает, что нередко не позволяет выдерживать требуемую точность обработки и относительного расположения поверхностей. Это может иметь место при всех встречающихся видах установки деталей при механической обработке. Заметим, что величина допустимого износа по техническим условиям на ремонт назначается исходя из условий возможности расширения той или иной посадки сопряжения. Базирование деталей на изношенную поверхность вызывает повышение погрешности базирования и снижение точности обработки.

Механическую обработку деталей необходимо начинать с исправления базовых поверхностей, а при использовании в качестве технологических баз рабочих поверхностей деталей следует использовать неизношенные участки.

При исправлении базовых поверхностей в качестве баз можно использовать другие базы, связанные с исправляемой базой точными размерами и техническими требованиями.

В качестве технологических баз могут быть приняты вспомогательные базы, например центровые отверстия коленчатых, распределительных и других валов, привалочные плоскости и установочные отверстия корпусных деталей и т. п.

Таким образом, выбор технологических баз, схем базирования и установки должен быть обоснован с точки зрения обеспечения минимальной погрешности установки и качества отремонтированной детали. Следует помнить, что погрешность установки складывается из погрешности базирования и погрешности закрепления.

Целесообразно рассмотреть несколько вариантов схем установки и принять те, которые отвечают требуемым техническим условиям. Выбор схемы установки детали при механической обработке выполняется в пояснительной записке и служит исходной информацией при формировании технологического маршрута восстановления детали и разработке технологических схем наладки оборудования.

6.3. Обработка наплавленных поверхностей

Поверхности деталей, восстановленные наплавкой, обладают по сечению неоднородными физико-механическими свойствами, химическим составом и микроструктурой. Механические свойства наплавленного слоя (прочность, твердость и др.) зачастую значительно выше, чем у материала самой детали. К особенностям наплавленных деталей также относятся микронеровности наплавки, неметаллические включения и пористость наружного слоя. Толщина

наносимого покрытия значительно больше величины износа. Так, для компенсации износа 0,2 – 0,5 мм наплавляют слой до 1,0 – 1,2 мм. Эти факторы оказывают значительное влияние на технологию и трудоемкость обработки резанием наплавленных на детали слоев.

Выбор вида обработки наплавленных поверхностей зависит от их твердости и хрупкости, припуска для удаления дефектного слоя, производительности процессов, требуемой точности. Предварительная обработка деталей после наплавки, как правило, выполняется резцами с пластинами из твердого сплава Т5К10 и Т15К6.

Для чернового точения поверхностей, наплавленных проволокой 30ХГСА, 65Г, электродом ЭН60М и др. проволоками, с твердостью 46 – 61,5 HRC, рекомендуется инструмент из мелкозернистых твердых сплавов ВК3М и ВК6М. Обязательным условием для черновой обработки является применение резцов с отрицательными передними углами, обеспечивающими повышенную прочность рабочей части резца при точении «по корке».

Для чистовой обработки наплавленных деталей с повышенной твердостью рекомендуется инструмент из эльбора-Р и гексанита-Р.

6.4. Обработка деталей с газотермическими покрытиями

Чтобы увеличить прочность сцепления газотермических покрытий с основным металлом, перед напылением проводят предварительную механическую обработку детали на токарных станках, которая заключается в нарезании рваной резьбы, кольцевых канавок, косой сетчатой накатки поверхности. Режим обработки и выбор материала инструмента зависят от материала и габаритов детали и от требуемой шероховатости поверхности.

Детали с напыленными покрытиями подвергают различным видам механической обработки – точению, шлифованию, сверлению, строганию, хонингованию, а также слесарной опиловке, шабровке, анодно-механической и элёктроискровой обработке. Механическая обработка металлических покрытий может осуществляться не только в результате съема материала, но и методами пластической деформации – обкаткой роликом, обработкой металлическими щетками, дробью и т. п. Однако своеобразие структуры напыленных покрытий, сложенных из отдельных частиц, обладающих пониженными когезионной прочностью и теплопроводностью и содержащих при напылении на воздухе включения оксидов и нитридов, требует выбора наиболее целесообразного вида инструмента и использования специальных режимов обработки.

6.5. Обработка синтетических материалов

Перед обработкой под номинальный размер, выполняемой после нанесения покрытия, для точного центрирования и базирования детали в станке необходимо проверить центровые отверстия и базы, удалить случайные наплывы пластмассы, не повредив металлическую основу. Нанесение покрытий всегда

целесообразно выполнять таким образом, чтобы центровые отверстия оставались совершенно чистыми. Если они находятся вблизи покрываемых поверхностей, то их следует прикрывать. С края поверхности, покрытой пластмассовым слоем, который при сборке должен соответствовать точной посадке детали, в процессе доводки до номинального размера (вала и отверстия) должна быть снята фаска 30 х 3 или 30 х 5 мм для предупреждения перекосов при сборке.

Режим обработки резанием термопластов (в том числе покрытий из полиамида) зависит от температуры плавления материала. Параметры заточки режущего инструмента и скорость резания отличаются от условий, характерных для металлов. Общее правило – режущий инструмент должен контактировать с обрабатываемым материалом на возможно меньшей поверхности и возможно меньшее время.

Величины припусков на механическую обработку одной и той же детали, восстановленной различными способами, могут значительно отличаться. При обработке поверхностей деталей, восстановленных хромированием, припуск на обработку составляет 0,05 – 0,07 мм на сторону. Наплавленная поверхность детали может иметь неровности, поры, раковины, окислы и шлаковые включения, поэтому припуски на обработку назначаются несколько большими, чем обычно: для деталей диаметром до 50 мм припуск принимают до 3 мм, а для деталей диаметром от 50 мм и более величина припуска составляет 3 ÷ 5 мм.

6.6. Обработка деталей с электрохимическими покрытиями

Детали с электрохимическими покрытиями подвергаются (при необходимости) только чистовой обработке.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ВРЕМЕНИ

Нормирование труда это определение его необходимых затрат на изготовление единицы продукции в конкретных организационно технических условиях. Целью нормирования труда является наиболее точное определение необходимых затрат. ,

7.1. Наплавка

Норма времени при восстановлении деталей способом вибродуговой наплавки и наплавки под слоем флюса определяется из выражения

$$T_{\text{н}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{доп}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \qquad (7.1)$$

где $T_{\text{о}}$ – основное время, мин; $T_{\text{в}}$ – вспомогательное время, мин; $T_{\text{доп}}$ – дополнительное время, мин; $T_{\text{пз}}$ – подготовительно-заключительное время, мин; $n_{\text{шт}}$ – количество деталей в партии, шт.

Основное время – это время, в течение которого происходит наращивание слоя металла заданной толщины на изношенные поверхности детали или его удаление в процессе механической обработки детали.

Вспомогательное время – это время выполнения комплекса подготовительных и заключительных (вспомогательных) переходов (операций).

Сумма основного и вспомогательного времени называется оперативным временем, т. е.

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} . \qquad (7.2)$$

Дополнительное время – это время обслуживания рабочего места. Оно затрачивается на подготовку сварочной проволоки, замену мундштуков, очистку наконечника и уход за станком, за рабочим местом и поддержание его в надлежащем состоянии в течение рабочей смены, на отдых, личные надобности и производственную гимнастику. Оно берется в процентах от оперативного времени и определяется по формуле

$$T_{\text{доп}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot K}{100}, \qquad (7.3)$$

где K – отношение дополнительного времени к оперативному в процентах ($K = 0{,}1 \div 0{,}14$).

Подготовительно-заключительное время – это время, затрачиваемое на получение, ознакомление и сдачу работы, на подготовку оборудования и оснастки, на оформление документации на партию одноименных деталей.

Основное время подсчитывается по формуле, мин

$$T_{\text{о}} = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot i}{1000 \cdot V_{\text{н}} \cdot S}, \qquad (7.4)$$

где L – длина наплавляемой поверхности с учетом захода и выхода электрода, мм; $V_{\text{н}}$ – скорость наплавки, м/ч; d – диаметр детали, мм; i – число ходов; S – шаг наплавки, мм/об.

Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки приводятся в табл. 7.1, а наплавки под слоем флюса – в табл. 7.2.

Таблица 7.1

Режимы вибродуговой наплавки

Толщина наплавляемого слоя, мм	Скорость подачи электрода, м/мин	Сила тока, А	Скорость наплавки, м/мин	Шаг наплавки, мм/об	Припуск на механическую обработку на сторону, мм	Примечания
0,6 – 0,7	1,3	120 – 140	1,2	1,8 – 2,2	0,4	Наплавка проволокой 1,6 – 1,8 мм
1,5	1,7	160 – 190	1,0	2,3 – 2,8	0,8	
2,5 – 3,0	1,7	160 – 190	0,4	2,8 – 3,6	1	

Вспомогательное время включает в себя время на установку и снятие детали (табл. 7.3 и 7.4), и время на проход при наплавке.

Вспомогательное время на проход при наплавке обычно принимается равным 0,8 – 0,9 мин на проход для вибродуговой наплавки и 0,5 мин для наплавки под слоем флюса.

Таблица 7.2

Режимы автоматической наплавки под слоем флюса

Диаметр наплавляемой детали, мм	Величина тока, А	Скорость наплавки, м/мин	Шаг наплавки, мм/об	Высота наплавляемого слоя, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	Диаметр проволоки, мм
50 – 60	140 – 150	0,4	3	1,4 – 2,0	0,8	1,5
65 – 75	170 – 180	0,4	4	1,5	1,3	1,6
80 – 100	180 – 200	0,5	4	1,5 – 2,0	1,7	2,0
150 – 200	200 – 240	0,5	5	2,0 – 3,0	2,2	2,0
250 – 300	250 – 275	0,5	6	2,0 – 3,0	3,3	3,0

Таблица 7.3

Вспомогательное время на установку и снятие детали (наплавка), мин

Вид наплавки	Масса наплавляемой детали, кг	Время на установку и снятие детали, мин		
		в трехкулачковом патроне	в центрах	в центрах с люнетом
Вибродуговая наплавка	До 10	1,0	0,5	1,0
	Свыше 10	1,5	1,0	1,5
Наплавка под слоем флюса	5	0,7	0,6	–
	10	1,0	0,8	–
	20	1,5	1,1	–
	30	2,0	1,4	–

Подготовительно-заключительное время затрачивается на получение наряда и инструктажа, установление и проверку режимов наплавки детали, на сдачу работы и уборку станка. Оно определяется по табл. 7.4.

Таблица 7.4

Подготовительно-заключительное время (наплавка), мин

Элемент работы	Время, мин		
	при простой работе	при работе средней сложности	при сложной работе
Получение производственного задания, указания, инструктажа	5	7	10
Ознакомление с работой	3	5	7
Подготовка приспособлений	–	3	5
Сдача работы	2	2	2
Итого:	10	17	24

Пример 13

Определить $T_{шт.к}$ на операцию наплавки шатунной шейки коленчатого вала двигателя КамАЗ-740.

Исходные данные: материал коленчатого вала – сталь 42ХМФА; диаметр шейки $D = 80_{-0,013}$ мм; длина шейки – $b = 67^{+0,12}$ мм.

Наплавку производят проволокой Нп-30ХГСА диаметром d = 5 мм под слоем флюса АН-348А. Партия деталей – 40 штук.

Площадь поперечного сечения шва $F = \pi \cdot r^2$, где r = 2,5 мм – радиус проволоки; F = 19,6 мм^2.

Длина наплавленного шва $L = \pi \cdot D \cdot n$, где n – количество швов на шейке. $n = b / S$, где S – шаг наплавки, мм, равный 2 – 6 диаметрам проволоки.

При $S = 2d$ = 10 количество швов n = 7; L = 1758,4 мм.

При γ = 7,8 г/см^3 $k_п$ = 0,9; $d_н$ = 12 г/(А ·ч); I = 180 А; $k_с$ =1.

$$T_о = \frac{0,06 \cdot 19,6 \cdot 1758,4 \cdot 7,8 \cdot 0,9}{12 \cdot 180} = 6,72 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время $T_в$ = 2,0 мин [12], дополнительное время на обслуживание рабочего места $T_{обс}$, а также на отдых и личные потребности $T_{о.л}$:

$$T_д = 0,05\ (T_о + T_в) = 0,05 \cdot (6,72 + 2,0) = 0,44 \text{ мин.}$$

Подготовительно заключительное время $T_{пз}$ = 20 мин.

Штучно-калькуляционное время на наплавку одной шатунной шейки

$$T_{шт.к} = T_{оп} + T_д + \frac{T_{пз}}{n_п};$$

$$T_{шт.к} = 6,72 + 2,0 + 0,44 + 20/40 = 9,66 \text{ мин.}$$

7.2. Электрохимические покрытия

Норму времени при нанесении электрохимических покрытий определяют по формуле

$$T_{\text{н}} = \frac{(T_{\text{о}} + T_i)k_{\text{пз}}}{n_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \qquad (7.5)$$

где $T_{\text{о}}$ – продолжительность осаждения покрытия, ч; T_i – время на загрузку и выгрузку деталей из ванны, принимают равным 0,1 ÷ 0,2 ч; $k_{\text{пз}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное и подготовительно- заключительное время, при односменной работе принимают равным 1,1 ÷1,2; при двухсменной – 1,03 ÷ 1,05; $n_{\text{д}}$ – число деталей, одновременно наращиваемых в ванне, шт.; $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования ванны ($\eta_{\text{в}}$ = 0,8 ÷ 0,95).

Продолжительность осаждения покрытия определяют по формуле

$$T_{\text{о}} = \frac{1000 \cdot h \cdot \gamma}{c \cdot I \cdot S \cdot \eta}, \qquad (7.6)$$

где h – толщина наращиваемого слоя на сторону, мм; γ – плотность осаждаемого металла (для хромирования – 6,9, осталивании – 7,8 г/ см^3); c – электрохимический эквивалент осаждаемого металла (см. табл. 5.4); S – площадь хромирования, дм^2; I – сила тока, А; η – выход металла по току (см. табл. 5.4).

7.3. Механическая обработка

Расчет норм времени при механической обработке приведен в работе [12].

. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

8.1. Оформление технологической документации

В комплект технологической документации на восстановление детали входят: ремонтный чертеж, маршрутная карта ремонта (МК), операционная карты (ОК), карты эскизов (КЭ). Примеры оформления операционных и эскизных карт приведены в работе [12].

Пример оформления маршрутной карты ремонта приведен в прил. 8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Восстановление деталей машин*: справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов [и др.]. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.

2. *Воробьев Л. Н.* Технология машиностроения и ремонт машин. М.: Высшая школа, 1981. 344 с.

3. *Иванов В. П.* Технология и оборудование восстановления деталей машин: учебник. М.: Техноперспектива, 2007. 458 с.

4. *Краткий справочник металлиста* / под общ. ред. А. Е. Древаля, Е. А. Скороходова. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 960 с.

5. *Молодык Н. В., Зенкин А. С.* Восстановление деталей машин: справочник. - М.: Машиностроение, 1989. 480 с.

6. С*олод Г. И., Морозов В. И., Русихин В. И.* Технология машиностроения и ремонт горных машин: учебник для вузов. М.: Недра, 1988. 421 с.

7. *Хазин М. Л.* Теория и методы восстановления деталей горных машин: уч. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 308 с.

8. *Обработка металлов резанием*. Справочник технолога / под ред. А. А. Панова. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.

9. *Общемашиностроительные нормативы времени*: вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. М.: Машиностроение, 1974. 345 с.

10. *Справочник технолога-машиностроителя*. Т. 1 и 2 / под. ред. А. Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 2001.

11. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Справочно-методическое пособие по оформлению технологической части ВКРБ, ВКРИ и курсового проекта для студентов направления 150400 – «Технологические машины и оборудование». Екатеринбург: УГГУ, 2008. 75 с.

12. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология машиностроения. Технологическая часть ВКРИ: пособие по выполнению технологической части ВКР инженера для студентов специальности 130602 – «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов» (МНГ) направления 130600 – «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» очного и заочного обучения. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 80 с.

13. *Рябов В. Ю., Новикова Н. А.* Методическое руководство для самостоятельной работы студентов специальности 150402 ГМО по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 36 с.

Приложение 1

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Министерство науки и образования РФ
ФБГОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине
Технология ремонта, восстановления и сборки машин
на тему

«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ _____»
(наименование детали)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Вариант задания № _____

Студент _____
(Ф. И. О.)

Группа _____
(номер группы)

Преподаватель _____
(Ф. И. О.)

Екатеринбург – 2018

Приложение 2

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРВОГО ЛИСТА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

СОДЕРЖАНИЕ

1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ
2. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ДЕТАЛИ
   - 2.1. Дефект № 1
   - 2.2. Дефект № 2
   - 2.3. Дефект № 3
3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ
   - 3.1. Выбор по технологическому критерию
   - 3.2. Выбор по техннческому критерию
   - 3.3. Выбор по техннико-экономическому критерию
   - 3.4. Окончательный выбор способа восстановления детали
4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ
5. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ
6. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ИНСТРУМЕНТА
   - 6.1. Выбор оборудования
   - 6.2. Выбор приспособлений
   - 6.3. Выбор инструмента
7. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ
   - 7.1. Предварительная механическая обработка
   - 7.2. Электрохимическое хромирование
   - 7.3. Механическая обработка
8. НОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ
   - 8.1. Токарная обработка
   - 8.2. Наплавочная
   - 8.3. Токарная обработка
   - 8.4. Фрезерная обработка
9. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ
10. ЛИТЕРАТУРА

					КР МШС-17 025 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработал		Пупкин В.М.			Разработка технологического процесса восстановления вала	Лит.	Лист	Листов
Руководитель		Зверев Р.Г.					2	36
Консультант		Волков А.С.						
Н. Контр.		Крокодилов П.В.			61	УГГУ группа МШС –17		
Утвердил		Боярских Г.А.						

Приложение 3

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ЛИСТОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ

Заданная деталь представляет собой вал-шестерню.

					КР МШС-12 025 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата		3

Приложение 4

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Таблица П4.1

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Способ восстановления	Область применения
Сварка	
– ручная дуговая	Заварка трещин, приварка накладок, вставок, заплат, наплавка износостойких материалов.
– автоматическая и механизированная дуговая	Заварка трещин, приварка накладок, вставок, заплат, сварка тонколистового материала.
– аргонодуговая	Сварка и наплавка алюминия и коррозионностойкой стали.
– газовая	Заварка трещин, приварка накладок, сварка тонколистового материала.
– ультразвуковая	Сварка цветных металлов, стали, негабаритных деталей
Наплавка	
– электродуговая под флюсом	Наплавка деталей диаметром более 50 мм при повышенных требованиях к качеству наплавленного материала с толщиной наплавленного слоя более 1 мм
– электродуговая в углекислом газе	Наплавка стальных деталей диаметром более 16 мм широкой номенклатуры, работающих в различных условиях
– вибродуговая	Наплавка стальных деталей, работающих в различных условиях при невысоких требованиях к сопротивлению усталости
– электродуговая порошковой проволокой или лентой	Наплавка износостойких слоев на деталях, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, ударных нагрузок, в узлах трения
– плазменная	Наплавка ответственных деталей при повышенных требованиях к износостойкости и сопротивлению усталости
– контактная	Наплавка гладких цилиндрических наружных и внутренних поверхностей с износами не более 1 мм
– газовая	Наплавка цилиндрических и профильных поверхностей с местным износом и повышенных требованиях к износостойкости
– аргонодуговая	Наплавка алюминиевых деталей и деталей из коррозионно-стойкой стали
– электроискровая	Наращивание и упрочнение поверхностей с износом до 0,2 мм при невысоких требованиях к сплошности покрытия
– высокочастотная	Наплавка износостойких материалов на рабочие органы и лезвия

Продолжение табл. П4.1

Способ восстановления	Область применения
Нанесение газотермических покрытий	
– пламенное порошковыми материалами без оплавления (на ацетилене или пропан-бутане)	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности неподвижных сопряжений при невысоких требованиях к прочности сцепления с основным материалом
– плазменное порошковыми материалами и проволокой	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности
– ионно- плазменное	Нанесение износостойких и защитных покрытий толщиной до 0,02 мм
– детонационное	Нанесение износостойких покрытий с особыми свойствами
– электродуговое и высокочастотное	Наружные и внутренние цилиндрические поверхности с невысокими требованиями к прочности сцепления
Холодное пластическое деформирование	
– раздача	Восстановление наружных поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями к внутреннему размеру
– вытяжка	Восстановление длины деталей с нежесткими требованиями к наружным размерам
– дорнование и калибровка	Восстановление поверхностей в отверстии после осадки или термического воздействия. Упрочнение и выглаживание
– правка	Восстановление формы
– накатка	Восстановление поверхности неответственных деталей, восстановление рифленой и шлицевой поверхностей
– осадка	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей при нежестких требованиях к длине
– обжим	Восстановление внутренних поверхностей деталей при нежестких требованиях к размерам наружных поверхностей
Горячее пластическое деформирование	
– давление в закрытом штампе	Восстановление формы и элементов деталей за счет перераспределения металла из нерабочих поверхностей на рабочие для компенсации износа
– накатка	Восстановление зубчатых профилей шестерен и звездочек
– ротационное деформирование	Восстановление зубчатых и шлицевых поверхностей.
– обжим	Восстановление внутренних размеров деталей при нежестких требованиях к наружным
– правка	Восстановление формы
– вытяжка	Восстановление длины деталей с нежесткими требованиями к наружным размерам
– осадка	Восстановление наружных и внутренних рабочих поверхностей

Продолжение табл. П4.1

Способ восстановления	Область применения
Электрохимические процессы	
– осталивание	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей преимущественно с износом, не превышающим 0,2–0,5 мм, высокой поверхностной твердостью и при нежестких требованиях к прочности сцепления покрытия с основным металлом
– хромирование	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей с износом, не превышающим 0,2 мм, и высокими требованиями по износостойкости восстановленных поверхностей
– никелирование	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей с износом, не превышающим 0,05 мм
– цинкование	Защитное покрытие от коррозии.
– меднение	Восстановление наружных и внутренних поверхностей деталей из меди и ее сплавов
– кадмирование	Защитные антикоррозионные покрытия
Нанесение полимерных материалов	
– напылением, намазыванием	Восстановление посадочных поверхностей неподвижных сопряжений, заделка трещин, пробоин
– литьем: под давлением, опрессовкой	Восстановление антифрикционных, электроизоляционных и декоративных покрытий, изготовление деталей
– намазыванием жидких прокладок, герметиков	Восстановление герметичности соединений
Обработка под ремонтный размер	
– категорийный	Обработка детали под заданный ремонтный размер сопрягаемой детали с ремонтными стандартными размерами
– индивидуальный	Восстановление формы и посадок поверхностей обработкой более дорогостоящей детали, подгонка менее дефицитной и дорогой детали по размерам основной с обеспечением заданной посадки
Постановка дополнительных деталей	
– обрезка и приварка быстроизнашивающихся элементов	Восстановление рабочих органов строительных и горных машин
– бандажирование	Восстановление наружных поверхностей деталей с предварительной механической обработкой и без нее
– постановка втулок и компенсационных шайб	Восстановление отверстий, размерных цепей
– постановка свертных колец с закрепляющим раскатыванием	Восстановление отверстий
– постановка фигурных вставок и стяжек	Устранение трещин, восстановление герметичности
– приварка и приклеивание накладок и заплат	Устранение трещин, пробоин, восстановление герметичности

Окончание табл. П4.1

Способ восстановления	Область применения
Электромеханическая обработка	
– высаживание и выглаживание	Восстановление поверхностей с износом до 0,2 мм у неподвижных сопряжений
Электрофизическая обработка	
– электроконтактная электроабразивная, анодномеханическая	Обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью, удаление остатков обломанных инструментов
Электрохимическая обработка.	
– инструментом с подачей электролита	Обработка наплавленных поверхностей с высокой твердостью

Таблица П4.2

Способы ремонта, применяемые при устранении некоторых типовых дефектов деталей

Вид дефекта	Рекомендуемые способы ремонта
Нарушение формы поверхностей или требований к их взаимному расположению	Холодная или горячая правка Механическая обработка
Износ шпоночного паза	Обработка под ремонтный размер Заделка изношенного паза, фрезерование нового паза под углом в 90° или 120° к изношенному
Износ шлицев	Пластическое деформирование Заваривание изношенных шлицев, фрезерование (протягивание) новых шлицев номинального размера
Срыв более двух ниток, износ, смятие резьбы (наружной и внутренней)	Заваривание резьбы, нарезание резьбы номинального размера Нарезание резьбы ремонтного размера Постановка дополнительной детали
Нарушение защитного покрытия	Цинкование, кадмирование, оксидирование, фосфатирование, хромирование
Трещины	Разделка и заварка
Усталостные трещины (выкрашивание)	Деталь бракуется

Таблица П4.3

Технологические характеристики способов восстановления

Способ восстановления	Толщина слоя, мм		Суммарный припуск, *Z*, мм	Минимальный наружный диаметр поверхности, мм	Минимальный внутренний диаметр поверхности, мм	Снижение усталостной прочности, %
	наименьшая	наибольшая				
Наплавка						
– ручная электродуговая	1	5	2	10	40	30
– в среде углекислого газа	0,5	3	2	15	–	15
– в среде водяного пара	1	3	2	15	–	15
– под слоем флюса	1,5	3	2	35	–	15
– вибродуговая	0,5	2	1	15	50	50
– плазменная	0,2	6,5	1			
– контактная наплавка	0,3	1,5	1	5	–	15
Электрохимическое наращивание						
– хромирование	0,05	0,3	0,1	5	40	20
– осталивание	0,1	3	0,1	12	40	25
Электромеханическое выглаживание	0,2		0,1			
Пластическое деформирование	0,5	2	0,2			
Постановка дополнительной детали	1	5	0,2			
Напыление						
– дуговая металлизация	0,3	3	2	30	–	12
– электрометаллизация				30	100	45
– газопламенное напыление	0,3	1,5	2	30	–	45
– плазменное	0,3	3				

Таблица П4.4

Коэффициенты износостойкости, выносливости, сцепляемости

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	износостойкости, $K_{и}$	выносливости, $K_{в}$,	сцепляемости, $K_{сц}$
Ручная электродуговая наплавка	0,9	0,8	0,8
Электродуговая наплавка в углекислом газе	0,85	0,9÷1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Электродуговая наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Газовая наплавка	0,7	0,7	1,0
Плазменная наплавка	1,0	0,7	0,4
Дуговая металлизация	1,0÷1,3	0,6÷1,1	0,2÷0,3
Газопламенное напыление	1,0÷1,3	0,6÷0,1	0,3÷0,4
Плазменное напыление	1,0÷1,5	0,7÷1,3	0,4÷0,5
Хромирование (электрохимическое)	1,0÷1,3	0,7÷1,3	0,4÷0,5
Осталивание (электрохимическое)	0,9÷1,2	0,8	0,65÷0,8
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9÷1,1	0,8	0,8÷0,9
Ручная наплавка	0,9	0,8	1,0
Клеевые композиции	1,0	–	0,7
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	До 3,00	0,8	1,0
Обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование	0,8÷1,0	1,0	1,0

Таблица П4.5

Удельная себестоимость восстановления изношенных поверхностей деталей различными способами

Способы восстановления	Удельная себестоимость восстановления, руб/дм^2	Способы восстановления	Удельная себестоимость восстановления, руб/дм^2
Наплавка		*Металлизация (напыление)*	
– ручная электродуговая	97	– дуговая металлизация	71
– электродуговая в углекислом газе	45	– газопламенная	46
– электродуговая в водяном паре	44	– плазменная	44
– вибродуговая	68	Обработка под ремонтный размер	12
– электродуговая под слоем флюса	47	Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	58
– контактная (приварка металлического слоя)	40	Установка дополнительной детали	34
– электроискровая	28	*Электрохимическое осаждение*	
– плазменная		– хромирование	68
– газовая	77	– осталивание	30
Пластическое деформирование	38	Клеевые композиции	22

Таблица П4.6

Припуск на механическую обработку после нанесения покрытий

Способ получения покрытия	Припуск на сторону, мм
Ручная дуговая наплавка	1,4 – 1,7
Дуговая наплавка под слоем флюса	0, 8 – 1,1
Наплавка в среде углекислого газа.	0,6 – 0,8
Электроконтактная наплавка	0,8 – 1,0
Вибродуговая наплавка	0,6 – 0,8
Плазменная наплавка	0,4 – 0, 6
Контактная наварка	0,2 – 0,5
Газотермическое напыление	0,2 – 0,5
Осталивание	0,1 – 0,2
Хромирование	0,05 – 0,1

Таблица П4.7

Припуски на снятие цементированного слоя

Глубина цементированного слоя, мм	Размеры, мм	Припуск, мм	
		на диаметр для цилиндрических наружных и внутренних поверхностей	на сторону для плоских (в том числе торцевых) поверхностей
0,46 – 0,6	До 30	1,5	1,0
	30 – 80	1,7	1,1
	80 – 180	2,0	1,2
0,6 – 0,8	До 30	2,0	1,0
	30 – 180	2,2	1,2
	180 – 260	2,5	1,5
0,8 – 1,1	До 30	2,5	1,5
	30 – 120	2,7	1,7
	120 – 500	3,0	2,0
1,1 – 1,4	До 30	3,2	1,8
	30 – 120	3,5	2,0
	120 – 500	4,0	2,3

Приложение 5

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Таблица П5.1

Материал режущего инструмента

Способ обработки	Материал детали	Материал инструмента
Наружное продольное и поперечное точение проходными резцами с углом φ = 45, 60 и 90°; подрезными резцами; растачивание отверстий расточными резцами с углом φ = 45, 60 и 90°:		
– черновое	Сталь	Т5К10
– получистовое и чистовое	Сталь Сталь < 49 HRC Сталь > 50 HRC	Т30К4,Т15К6 Т14К8, Т30К4, Т15К4, ВК6 ВК4, ВК6, ВК9
– черновое	Серый чугун	ВК6, ВК8
– чистовое	Серый чугун	ВК2, ВК3
– черновое и чистовое	Ковкий чугун Цветные металлы	ВК8 ВК6
Подрезка канавок отрезными резцами	Сталь Чугун	Т15К6, Т5К10 ВК6, ВК8
Нарезание резьбы резьбовыми резцами	Сталь Чугун	Т30К4, Т15К6, Т14К3 ВК6, ВК8, ВК2, ВК3, ВК4
Сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание	Сталь, чугун Алюминиевые сплавы	Р18 Р18
Фрезерование торцевыми фрезами	Сталь Чугун Алюминиевые сплавы	Т3К10,Т15К6, Т14К8 ВК8, ВК6 Р18
Фрезерование цилиндрическими, дисковыми, прорезными фрезами	Сталь, чугун	Р18
	Алюминиевые сплавы	Р18

Таблица П5.2

Коэффициенты трения для материалов

Материал сопрягаемых деталей	Коэффициент трения
Сталь – сталь	0,06 – 0,13
Сталь – чугун	0,07 – 0,12
Сталь – латунь	0,05 – 0,1
Сталь пластмассы	0,15 – 0,25

Таблица П5.3

Модули упругости и коэффициенты Пуассона для некоторых материалов

Материал	Модуль упругости, $E \cdot 10^9$, Па	Коэффициент Пуассона	Материал	Модуль упругости, $E \cdot 10^9$, Па	Коэффициент Пуассона
Сталь углеродистая	2,0 – 2,1	0,26	Бронза фосфо-ристая	1,15	0,33
Сталь легированная	2,1 – 2,2	0,28	Бронза марган-цевая	1,10	0,35
Чугун белый, серый	1,15 – 1,60	0,25	Бронза алюми-ниевая	1,05	0,34

Приложение 6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Таблица П6.1

Характеристики наплавочных станков для дуговой наплавки

Параметр	В защитных газах У-651	Под слоем флюса У-652
Размеры наплавляемого изделия, мм:		
– диаметр	20 – 500	40 – 150
– длина	1300	1200
Диаметр электродной проволоки, мм:		
– сплошной	1,6 – 3,5	1,6 – 2,5
– порошковой	2,0 – 3,0	–
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	50 – 500	50 – 500
Скорость линейного перемещения сварочной головки, м/ч	0,5 – 150,0	0,5 – 150,0
Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$	0,025 – 8,7	0,03 – 10,4

Таблица П6.2

Характеристики установок «Ремдеталь» для электродугового напыления

Показатель	УД-609.01	УД-609.10
	детали типа «вал»	плоские детали
Производительность, кг/ч	До 10	18,8 (сталь) 12 (алюминий) 40 (цинк)
Рабочее напряжение, В	24–36	17–40
Сварочный ток, А	240–310	50–400
Частота вращения детали, об/мин	80	–
Диаметр применяемых проволок, мм	1,6–2,0	1,5–2,0
Расход сжатого воздуха, м^3/ч	120	До 150
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,5–0,6	0,3–0,6
Максимальная толщина покрытия, мм	5	–
Максимальные размеры восстанавливаемых деталей, мм		
Длина	2500	600
Диаметр (ширина)	400	450
Занимаемая площадь, м^2	9	6
Габаритные размеры, мм	2620x760x1600	1420x760x1600
Масса комплекта, кг	700	600

Таблица П6.3

Характеристики гальванических установок

Установка	Вместимость ванны, л	Производительность, $дм^2/ч$	Род тока	Ток, А	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Назначение
0013-040 Ремдеталь	160	20 (h = 0,2)*	Асимметричный, постоянный	200	42**	1035x1725x3230	950	остаивание
0013-024 Ремдеталь	560	17	То же	630	12**	1180x2146x4305	1250	остаивание
0013-022 Ремдеталь	390	20 (h = 0,25)*	Постоянный	50 $А/дм^2$	42**	9750x4000x3500	5500	остаивание
0013-031 Ремдеталь	600	–	Ассиметричный, постоянный	630	15**	1560x2500x1940	956	холодное остаивание
0013-035 Ремдеталь	200	8 (h = 0,05)*	То же	400	16,8**	4800x1400x2500	1370	хромирование

Примечания: * В скобках дана толщина покрытия, при которой достигается указанная производительность.

** Мощность источника питания без учета мощности нагревателей.

Приложение 7

РЕЖИМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Таблица П7.1

Зависимость тока при наплавке под флюсом и в среде защитных газов от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока, А при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2 – 1,6	2 – 2,5
50 – 60	120 – 140	140 – 160
65 – 75	150 – 170	180 – 220
80 – 100	180 – 200	230 – 280
150 – 200	230 – 250	300 – 350
250 – 300	270 – 300	350 – 380

Таблица П7.2

Режимы токарной обработки восстанавливаемых деталей

Способ восстановления	Вид обработки	Материал инструмента	Режимы резания		
			скорость резания, *V*, м/мин	подача, *S*, мм/об	глубина обработки, *t*, мм
Наплавка	Черновая	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	46,0	0,2	1,0
			27,5	0,3	2,0
	Чистовая	Т15К6, Т14К8, ВК3, ВК6, ВК8	138	0,15	0,25
			104	0,20	0,50
Газотермическое напыление порошковых материалов	То же	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	20	0,30	0,50
	То же	Т15К6, Т14К8, ВК6, ВК8	40	0,15	0,20
Осталивание	-«-	Т15К6, ВК6, ВК8, Т30К4	30	0,50	2,00
	-«-	Т15К6, ВК6, ВК8, Т30К4	60	0,12	0,20

Таблица П7.3

Режимы шлифования восстанавливаемых деталей

Способ восстановления	Вид обработки	Характеристика шлифовального круга	Режимы обработки			
			$v_к$, м/с	$v_д$, м/мин	$S_{пр}$, м/мин	t, мм
Наплавка	Черновая	Нормальный электрокорунд, зернистость 40-50, твердость СТ-СТ1, связка	25 – 30	10 – 15	0,7 – 1,2	0,01 – 0,05
	Чистовая	Белый электрокорунд, зернистость 25-40, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	30 – 32	12 – 15	0,4 – 0,7	0,008 – 0,01
Газотермическое напыление порошковых материалов	Черновая	Нормальный электрокорунд, зернистость 46-60, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	10 – 30	6 – 15	0,5 – 0,7	0,01 – 0,03
	Чистовая	То же	20 – 30	3 – 6	0,3 – 0,5	0,008 – 0,01
Контактная наварка металлической ленты	Чистовая	Белый электрокорунд, зернистость 25-40, твердость СМ2-СМ1, связка керамическая	30 – 40	25 – 30	0,2 – 0,3	0,008 – 0,01
Осталивание	Чистовая	Синтетический алмаз АСП10К6, АСП15К8, АСП25К6-50, АСП30К6-50	25 – 35	20 – 25	1,0 – 1,5	0,01 – 0,02
Хромирование	Чистовая	Нормальный электрокорунд, зернистость 40-50, твердость С1-С2, связка керамическая	30 – 40	15 – 20	1,0 – 1,5	0,008 – 0,01

Таблица П7.4

Средняя точность и параметр шероховатости обработанных наружных поверхностей тел вращения

Способ обработки	Квалитет	Параметр шероховатости	
		Ra, мкм	*Rz*, мкм
Обтачивание			
– однократное	12	6,3	30
– черновое + обтачивание чистовое	11 – 10	3,2	15
– однократное + шлифование однократное	10 – 8	1,6 – 0,63	8,0 – 3,2
– обтачивание чистовое + шлифование однократное	8 – 6	0,63	3,2
– однократное + шлифование черновое + +шлифование чистовое	7 – 6	0,4	1,8
– черновое + обтачивание чистовое + +шлифование черновое + шлифование чистовое	6	0,4	1,8
– черновое + обтачивание чистовое + +шлифование чистовое + шлифование тонкое	5	0,2 – 0,1	0,9 – 0,5
Растачивание	12	12,5 – 3,2	50 – 15
Сверление	12	25,0 – 12,5	100 – 50
Сверление + зенкерование	11	6,3 – 3,2	30 – 15
Сверление + развертывание	9 – 8	3,2 – 1,6	30 – 8,0
Сверление + протягивание	9 – 8	3,2 – 0,4	30 – 1,8
Рассверливание	12	25,0 – 6,3	100 – 3,2
Зенкерование	12	12,5 – 3,2	50 – 15
Фрезерование цилиндрическими и торцевыми фрезами			
– черновое	14 – 11	12,5 – 3,2	50 – 15
– получистовое и однократное	12 – 11	3,2 – 1,6	30 – 8,0
– чистовое	10	1,6 – 0,63	8,0 – 3,2
Шлифование			
– однократное	8-7	1,6 – 0,4	8,0 – 1,8
– черновое	9-8	0,63 – 0,4	3,2 – 1,8
– чистовое	7	0,4 – 0,1	1,8 – 0,5

Таблица П7.5

Основные параметры процесса нанесения гальванических покрытий

Вид покрытия	h, мм,	γ, г/см^3	$J_к$, А/дм^2	C, г/(А · ч)	η, %
Хромирование:					
– износостойкое	0,2 – 0,3	6,9	30 – 60	0,324	13
– защитно-декоративное	0,001	6,9	30 – 25	0,324	13
Осталивание	0,2 – 0,6	7,8	30 – 50	1,042	95
Меднение	0,003 – 0,030	8,9	3	1,195	100
Никелирование	0,015 – 0,020	8,9	3	1,095	95
Цинкование	0,020 – 0,010	7,1	2	1,230	95

Приложение 8

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ МАРШРУТНОЙ КАРТЫ РЕМОНТА

ГОСТ 3.1105-74 Форма 5

	Маршрутная карта ремонта	Обозначение и наименование детали (сборочная единица)	Наименование, марка матер.	Код технологического оснащения	Код ремонта
		Ведущий вал	40Х		

	Код и наименование дефекта		Наименование и содержание операции	Оборудование (код, наименование, инвентарный номер, шифр наладки)	Оснастка (код, наименование)		Тшк.	
1	Износ шейки под	005	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
	подшипником			3М161Е				
		010	Гальваническая	Гальваническая				
				ванна				
		015	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
				3М161Е				
2	Износ шпоночной	020	Наплавочная	Трансформатор				
	канавки			сварочный				
				ТС-500				
		025	Вертикально-фрезерная	Верт-фрезерн.				
				6Н12				
		030	Кругло-шлифовальная	Круглошлифов.				
				3М161Е				

Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Изм	Лист	N докум	Подпись	Дата	Разраб		Листов	Лист

Учебное издание

Хазин Марк Леонтьевич
Волегов Сергей Александрович

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И СБОРКИ МАШИН

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы
для студентов направления бакалавриата
15.03.01 – «Машиностроение»
очного и заочного обучения

Редактор *В. В. Баклаева*

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,65. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

Г. А. Боярских, И. Г. Боярских

ТРИБОТЕХНИКА

Методические указания
к практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов
направления
15.03.01 – «Машиностроение»

Екатеринбург
2019

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

Г. А. Боярских, И. Г. Боярских

ТРИБОТЕХНИКА

Методические указания
к практическим занятиям
и самостоятельной работе студентов
направления
15.03.01 – «Машиностроение»

1-е изд.

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

РАСЧЕТ ПАРЫ ТРЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ ИЗНОСА

контрольная работа по дисциплине

«Триботехника»

по направлению 15.03.01 «Машиностроение»

Выполнил

Студент ФИО группа

Проверил

доц. ФИО

Екатеринбург 2019

1. Пример решения задачи

Определить максимальную величину износа на рабочих поверхностях колес открытой фрикционной цилиндрической передачи (5).

Параметры передачи:

диаметры колес D_1 = 70 мм и D_2 = 230 мм;

ширина колес b=*50* мм;

передаваемая мощность на ведущем валу P_1=*4* кВт;

частота вращения ведущего вала n_1=970 мин$^{-1}$;

коэффициент сцепления $K_{сц}$=1,5;

коэффициент трения скольжения материала без смазки fс=0,15;

модуль нормальной упругости E=2,1-10^5 МПа (сталь 45) время работы t =1000 ч.

Решение

Необходимая сила нажатия для передачи вращающего момента T_t определяется:

$$F_n \geq \frac{k_{сц} T_1}{f_c \cdot D_1} = \frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 39{,}38}{0{,}15 \cdot 0{,}07} = 11250 \qquad (1)$$

где

$$T_1 = \frac{30 \cdot P_1}{\pi \cdot n_1} = \frac{30 \cdot 4000}{\pi \cdot 970} = 39{,}38 \text{ Н·м.} \qquad (2)$$

Полуширина полоски контакта при действии силы нажатия F,,=11250 Н определяется:

$$b = 1{,}522 \cdot \sqrt{11250 \cdot 26{,}8} \qquad (3)$$

где приведенный радиус кривизны,

$$b_{H(1,2)} = 1{,}522 \cdot \sqrt{\frac{11250 \cdot 26{,}83}{50 \cdot 2{,}15 \cdot 10^5}} = 0{,}18 \text{ мм}, \quad (4)$$

где приведённый радиус кривизны,

$$R_{\text{пр}(1,2)} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{D_1 \cdot D_2}{2(D_1 + D_2)} = \frac{70 \cdot 230}{2 \cdot (70 + 230)} = 26{,}83 \text{ мм}. \quad (5)$$

Контактные напряжения

$$\sigma_{H(1,2)} = 0{,}418\sqrt{\frac{11250 \cdot 2{,}15 \cdot 10^{5}}{50 \cdot 26{,}83}} \quad (6)$$

Определяем интенсивность изнашивания рабочих поверхностей колес фрикционной передачи.

Для 8-го класса шероховатости при круглом шлифовании рабочих поверхностей колес v=l,9;

A = 9,6· 10^{-2}, с приработкой рабочих поверхностей [приложение 1];

k=0,2; αпер=1;

t_y=7,9; a_o=700 МПа (приложение 2);

K_{tv}=3,9 (приложение 3);

f_M=0,119 (приложение 4);

$$I_{h(1,2)} = 0{,}2 \cdot 0{,}5^{\left(7{,}9-1-\frac{1}{2 \cdot 1{,}9}\right)} \cdot 2^{\left(\frac{1}{2 \cdot 1{,}9}\right)} \cdot 1{,}0 \cdot 3{,}9 \cdot 561{,}3^{\left(1+\frac{7{,}9}{2 \cdot 1{,}9+1}\right)} \times \quad (7)$$

$$\times \left(2{,}15 \cdot 10^5\right)^{\left(\frac{2 \cdot 1{,}9 \cdot 7{,}9}{2 \cdot 1{,}9+1}-1\right)} \cdot \left(9{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^{\left(\frac{1{,}9 \cdot 7{,}9}{2 \cdot 1{,}9+1}\right)} \cdot \left(\frac{0{,}2 \cdot 0{,}119}{700}\right)^{7{,}9} = 5{,}67 \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Толщина изношенного слоя ведущего h_1 и ведомого h_2 колес:

$$h_1 = 2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}18 \cdot \frac{3555 - 3484}{3555} \cdot 970 \cdot 6 \cdot 10^4 = 2{,}36 \text{ мм;} \quad (9)$$

$$h_2 = 2 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}18 \cdot \frac{3555 - 3484}{3484} \cdot \frac{970}{3{,}29} \cdot 6 \cdot 10^4 = 0{,}74 \text{мм,} \quad (10)$$

где окружные скорости ведущего и ведомого колес

$$V_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \cdot \frac{D_1}{2} = \frac{\pi \cdot 970}{30} \cdot \frac{70}{2} = \quad (11)$$

где ς - коэффициент скольжения. (12)

Передаточное отношение $i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{230}{70} = 3{,}29.$ (13)

Максимальная величина изношенного слоя $h_{max}=h_1=2{,}36$ мм. Максимально допустимый износ составляет [h] = 2 мм.

Допустимый ресурс работы ведущего колеса передачи

$$L_h = \frac{[h] \cdot t}{h_{max}} = \frac{2 \cdot 1000}{2{,}36} = 847 \text{ч,} \quad (14)$$

что меньше заданного, поэтому при данном износе 2,36 мм.

2. Справочно-методические материалы для выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине

Приложение 1

Значения параметров шероховатости поверхностей деталей

Вид обработки	Класс шероховатости	R_{max}, мкм	R_a, мкм	Приведенный радиус кривизны вершин выступов r, мкм	Параметры опорной кривой		Комплексная характеристика шероховатости, Δ
					ν	b	
Обработанные стальные поверхности							
Точение	5	37	5	15	2,1	1,0	$2{,}5\cdot10^{0}$
	6	18	2,5	20	1,9	1,4	$7{,}9\cdot10^{-1}$
	7	3,4	1,25	35	1,8	1,8	$1{,}9\cdot10^{-1}$
	8	4,7	0,63	55	1,6	2,0	$6{,}3\cdot10^{-2}$
Торцевое фрезерование	5	37	5	420	2,2	0,4	$1{,}4\cdot10^{-1}$
	6	18	2,5	900	2,0	0,5	$3{,}0\cdot10^{-2}$
	7	9,4	1,25	1300	1,8	0,6	$1{,}0\cdot10^{-2}$
Круглое шлифование	7	9,4	1,25	8	2	0,6	$1{,}6\cdot10^{-1}$
	8	4,7	0,63	12	1,9	0,9	$9{,}6\cdot10^{-2}$
	9	2,4	0,32	20	1,9	1,3	$4{,}1\cdot10^{-2}$
	10	1,2	0,16	30	1,9	2,0	$2{,}8\cdot10^{-2}$
Внутреннее шлифование	6	18	2,5	5	2	0,6	$49{,}6\cdot10^{-1}$
	7	9,4	1,25	8	1,9	0,9	$13{,}0\cdot10^{-1}$
	8	4,7	0,63	13	1,8	1,1	$3{,}6\cdot10^{-1}$
	9	2,4	0,32	18	1,7	1,4	$1{,}1\cdot10^{-1}$
Плоское шлифование	5	37	5	35	2,2	0,6	$1{,}24\cdot10^{0}$
	6	18	2,5	100	1,9	0,9	$2{,}0\cdot10^{-1}$
	7	9,4	1,25	180	1,8	1,0	$6{,}0\cdot10^{-1}$
	8	4,7	0,63	370	1,8	1,6	$1{,}3\cdot10^{-2}$
	9	2,4	0,32	550	1,6	2,3	$2{,}64\cdot10^{-3}$
Полирование	8	4,7	0,63	230	1,7	2,0	$1{,}4\cdot10^{-2}$

	9	2,4	0,32	450	1,6	2,5	$3{,}0\cdot10^{-3}$
	10	1,2	0,16	670	1,5	3,5	$7{,}8\cdot10^{-4}$
Хонингование	8	4,7	0,63	15	1,8	0,7	$0{,}37\cdot10^{-2}$
	9	2,4	0,32	20	1,7	1,0	$1{,}2\cdot10^{-1}$
	10	1,2	0,16	35	1,6	1,9	$2{,}26\cdot10^{-2}$
	11	0,6	0,08	70	1,6	2,5	$4{,}65\cdot10^{-3}$
Вид обработки	Класс шероховатости	R_{max}, мкм	R_a, мкм	Приведенный радиус кривизны вершин выступов r, мкм	Параметры опорной кривой		Комплексная характеристика шероховатости, Δ
					ν	b	
Алмазное выглаживание внутренних цилиндрических поверхностей	9	1,5	0,32	1300	1,0	0,9	$1{,}15\cdot10^{-3}$
	10	0,84	0,16	2300	1,4	1,0	$3{,}6\cdot10^{-4}$
	11	0,39	0,08	2400	1,5	1,6	$1{,}15\cdot10^{-4}$
	12	0,22	0,04	3100	1,5	2,5	$3{,}9\cdot10^{-5}$
Доводка цилиндрических поверхностей	10	1,2	0,16	30	1,5	2,5	$2{,}2\cdot10^{-2}$
	11	0,6	0,08	40	1,4	2,6	$7{,}7\cdot10^{-3}$
	12	0,3	0,04	55	1,3	2,6	$2{,}6\cdot10^{-3}$
	13	0,15	0,025	75	1,2	3,3	$7{,}4\cdot10^{-4}$
Абразивная доводка внутренних цилиндрических поверхностей	10	0,84	0,16	30	1,5	2,5	$1{,}53\cdot10^{-2}$
	11	0,43	0,08	40	1,4	2,5	$5{,}46\cdot10^{-3}$
	12	0,21	0,04	55	1,3	2,6	$1{,}87\cdot10^{-3}$
	13	0,10	0,025	80	1,2	3,3	$5{,}4\cdot10^{-4}$
Доводка плоскостей	10	1,2	0,16	300	1,6	2,4	$2{,}34\cdot10^{-3}$
	11	0,6	0,08	500	1,4	3,0	$3{,}5\cdot10^{-4}$
	12	0,3	0,04	1000	1,2	3,3	$1{,}2\cdot10^{-4}$
	13	0,15	0,025	3000	1,1	4,5	$1{,}35\cdot10^{-5}$
Обработанные чугунные поверхности							
Точение	4	48	10	25	1,9	1,1	$1{,}85\cdot10^{0}$
	5	21	5	37	1,8	1,2	$5{,}4\cdot10^{-1}$
	6	12	2,5	60	1,7	1,45	$1{,}54\cdot10^{-1}$
	7	7,4	1,25	130	1,6	1,5	$4{,}4\cdot10^{-2}$
Строгание	4	48	10	18	2,2	0,75	$3{,}0\cdot10^{0}$
	5	22	5	25	2,0	0,9	$9{,}3\cdot10^{-1}$
	6	11	2,5	100	1,9	1,2	$1{,}05\cdot10^{-1}$
	7	6,9	1,25	150	1,9	1,6	$3{,}5\cdot10^{-2}$
Цилиндрическое фрезерование	4	29	10	17	2,8	1,4	$2{,}54\cdot10^{0}$
	5	23	5	20	2,6	1,6	$9{,}6\cdot10^{-1}$
	6	11	2,5	25	2,4	1,7	$3{,}7\cdot10^{-1}$
	7	7,2	1,25	50	2,1	2,1	$1{,}07\cdot10^{-1}$

Вид обработки	Класс шерохо-ватости	R_{max}, мкм		Приведенный радиус кривизны вершин выступов r, мкм	Параметры опорной кривой		Комплексная характеристика шероховатости, Δ
					ν	b	
Растачивание	5	23	5	12	2,2	0,72	$2{,}2\cdot10^{0}$
	6	11	2,5	13	2,2	1,0	$8{,}85\cdot10^{-1}$
	7	6,9	1,25	15	2,1	1,15	$4{,}3\cdot10^{-1}$
	8	3,8	0,63	20	2,0	1,75	$1{,}41\cdot10^{-1}$
Торцевое фрезерование	5	23	5	40	2,0	0,42	$8{,}9\cdot10^{-1}$
	6	11	2,5	60	1,9	0,7	$2{,}3\cdot10^{-1}$
	7	6,9	1,25	90	1,8	0,75	$9{,}5\cdot10^{-2}$
Круглое шлифование	6	11	2,5	50	1,9	0,7	$2{,}72\cdot10^{-1}$
	7	7,2	1,25	85	1,9	1,2	$6{,}5\cdot10^{-2}$
	8	3,5	0,63	150	1,8	1,25	$2{,}0\cdot10^{-2}$
	9	1,8	0,32	190	1,7	1,55	$7{,}5\cdot10^{-3}$
Внутреннее шлифование	6	11	2,5	12	2,6	1,6	$8{,}0\cdot10^{-1}$
	7	7,4	1,25	16	2,4	1,75	$3{,}7\cdot10^{-1}$
	8	3,6	0,63	25	2,3	1,95	$1{,}8\cdot10^{-1}$
	9	1,7	0,32	45	2,2	2,1	$7{,}7\cdot10^{-2}$
Доводка плоскостей	10	0,98	0,16	15	1,3	2,0	$3{,}9\cdot10^{-2}$
	11	0,42	0,08	20	1,2	2,3	$1{,}05\cdot10^{-2}$
	12	0,23	0,04	40	1,1	2,4	$2{,}6\cdot10^{-3}$
	13	0,18	0,025	55	1,0	3,1	$1{,}6\cdot10^{-3}$

Приложение 2

Параметры разрушающего напряжения при однократном растяжении σ_0 и коэффициента кривой фрикционной усталости t_y при трении некоторых деталей по образцу из стали без смазки на воздухе

Материал	σ_0, МПа	t_y
Графиты марок:		
АГ-1500	20	2,0
АО-1500	25	2,6
АМС	80	2.4
Резина уплотнительная при 100 °С	22	4.8
Фторопласт-4	63	5,0
Резина при модуле упругости E=2,8 МПа	146	3,4

Резина протекторная (по бетонному покрытию)	160	3.4
Полиформальдегид	147	1,3
Эпоксидная смола без наполнителя	180	4,6
Резина при модуле упругости E=2,2 МПа	211	3,0
Капралон	630	2,6
Чугун ЧНМХ	660	4,1
Сталь 45	700	7,9
Поликарбонат	840	2,9
Резина при модуле упругости E=3,2 МПа	850	3,6
Ретинакс К-240	1184	12,6

Приложение 3

Таблица для определения коэффициента K_{tv}

	ν				
t_y	1	2	3	4	5
1	1	1,6	1,9	2,3	2,7
2	1	2	3	4	5
3	1	2,7	4,3	6,5	8,5
4	1	3	6	10	15
5	1	3	7	15	23
6	1	4	9,5	20	35
8	1	4,5	15	35	65
10	1	5,5	22	60	130
12	1	6,5	28	85	170
15	1	8,5	40	150	400

Примечание. Для промежуточных значений t_y и ν коэффициент K_{tv} находится методом линейной интерполяции.

Приложение 4

Величины молекулярной составляющей коэффициента внешнего трения $f_м$ для различных материалов

Материал	*HB*	$f_м$	τ_0, кГ/мм	β
Контакт с шаровым индентором из стали ШХ 15				
Свинец	3,3 2,8	0,14 0,155	0,274 –	0,057 –
Серебро	55	0,096	0,77	0,081
Алюминий	23	0,124	–	–
Медь	28,5	0,139	1,68	0,08
	40	0,125	1,8	
	52	0,115	1,82	
	85	0,1	1,7	

Никель	70	0,123	0,49	0,116
	105	1,13	1,47	
	180	0,095	3,78	
Армко-железо	65	0,16	–	–
	70	0,139		
	130	0,097		
Ванадий	110	0,103	–	–
Тантал	78	0,115	2,42	0,084
Молибден	110	0,105	1,87	0,088
	140	0,128	–	–
	186	0,095	2,79	0,08
Вольфрам	285	0,0082	–	–
Ниобий	32	0,142	0,896	0,114
Хром	100	0,135	1,5	0,12
	200	0,095	–	–
Цинк	33	0,088	–	–
Титан	128	0,1	2,82	0,078
Кобальт	130	0,092	–	–
Олово	4,4	0,17	0,449	0,068
Фторопласт	3,1	0,028	0,341	0,017
Полиэтилен ПЭВД	2,0	0,08	0,044	0,058
Полипропилен	3,7	0,38	0,011	0,035
Винипласт	12	0,091	0,372	0,06
Капралон технический	13	0,065	0,195	0,05
Материал	*HB*	$f_м$	τ_0, кГ/мм	β
Полиамид 68П	16	0,085	–	–
Плексиглас	16	0,22	–	–
Древесина прессованная	–	–	0,05	0,061
Чугун ЧНМХ	385	0,095	–	–
Бронза АСС-6-5	150	0,095	1,0	0,065
Контакт с синтетическим алмазом				
30ХГСА	340	0,125	20,06	0,066
45	270	0,119	20,39	0,044
08 Х18Н9Т	159	0,15	3,18	0,13
40Х	341	0,109	18,41	0,055
45	324	0,112	12,96	0,072

3 Пример алгоритма и задания для расчёта пары трения по критерию износа

В столбцах таблицы - указана последняя цифра зачетки, в строках - предпоследняя, в клетках таблицы - номер варианта (всего 30 вариантов).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	21	11	1	21	11	21	1	11	1
1	2	22	12	2	22	12	22	2	12	3
2	3	23	13	3	23	13	23	3	13	5
3	4	24	14	4	24	14	24	4	14	9
4	5	25	15	5	25	15	25	5	15	10
5	6	26	16	6	26	16	26	6	16	12
6	7	27	17	7	27	17	27	7	17	15
7	8	28	18	8	28	18	28	8	18	16
8	9	29	19	9	29	19	29	9	19	18
9	10	30	20	10	30	20	30	10	20	19

Например, номер зачетки 201278 09 (0 строка, 9 столбец) - вариант номер 1.

Варианты заданий

Выбор исходных данных на выполнение расчетной части контрольной работы осуществляется в соответствии с вариантом.

Таблица 1

Вариант	Передаваемая мощность на ведущем валу, P (кВт)	Частота вращения ведущего вала, n_1 ($мин^{-1}$)	Ширина колес, (мм)	Диаметры колес, (мм)		Коэффициент трения скольжения материала без смазки, f	Коэффициент сцепления, $K_{сц}$	Материал колес передачи
				D_1	D_2			
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	3,5	800	45	60	220	0,10	1,2	Чугун ЧНМХ ($E=2{,}2\cdot 10^5$ МПа)
2	4,0	850	50	70	230	0,12		
3	4,5	900	55	80	250	0,14		
4	5,0	950	60	90	270	0,16		
5	5,5	1000	65	100	290	0,18		
6	6,0	1050	70	110	320	0,20	1,5	Сталь 45 ($E=2{,}1\cdot 10^5$ МПа)
7	6,5	1100	75	120	350	0,11		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	7,0	1150	80	130	380	0,13		
9	7,5	1200	85	140	410	0,15		
10	8,0	1250	90	150	440	0,17		
11	3,8	820	45	60	220	0,20	1,5	Сталь 45 ($E=2,1\cdot10^5$ МПа)
12	4,3	880	50	70	230	0,11		
13	4,8	920	55	80	250	0,13		
14	5,1	980	60	90	270	0,15		
15	5,2	1020	65	100	290	0,17		
16	6,3	1080	70	110	320	0,10	1,2	Чугун ЧНМХ ($E=2,2\cdot10^5$ МПа)
17	6,6	1150	75	120	350	0,12		
18	7,4	1230	80	130	380	0,14		
19	7,7	1280	85	140	410	0,16		
20	8,2	1320	90	150	440	0,18		
21	3,2	815	45	60	220	0,10	1,1	Чугун ЧНМХ ($E=2,2\cdot10^5$ МПа)
22	4,3	865	50	70	230	0,12		
23	4,5	915	55	80	250	0,14		
24	5,1	945	60	90	270	0,16		
25	5,4	1020	65	100	290	0,18		
26	6,2	1070	70	110	320	0,20	1,3	Сталь 45 ($E=2,1\cdot10^5$ МПа)
27	6,8	1120	75	120	350	0,11		
28	7,4	1170	80	130	380	0,13		
29	7,6	1220	85	140	410	0,15		
30	8,5	1270	90	150	440	0,17		

Рабочие поверхности колес обработаны круглым шлифованием (R_a=0,63) и приработаны. Величину допустимого износа принять: [h]=2,5мм. Заданное время работы передачи - 1200 час. ς=0,98 - коэффициент скольжения.

Тематика теоретической части контрольной работы

(выбирается в соответствии с вариантом в объеме 3-5 стр.)

1. Абразивное изнашивание (характеристика, параметры, механизмы, примеры и т.п.)
2. Усталостное изнашивание (характеристика, параметры, механизмы, примеры и т.п.)
3. Водородное изнашивание (характеристика, параметры, механизмы, примеры и т.п.)
4. Адгезионное изнашивание (характеристика, параметры, механизмы, примеры и т.п.)
5. Смазка, характеристика трения по видам смазки
6. Смазочные материалы
7. Присадки, классификация, назначение
8. Способы смазывания
9. Избирательный перенос и явление безызносности
10. Нанотехнологии в триботехнике
11. Износ при заедании
12. Микрогеометрия поверхности
13. Макрогеометрия поверхности
14. Структура и свойства поверхностного слоя
15. Напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя, остаточные напряжения
16. Конструктивные методы повышения триботехнических свойств

17.Выбор материалов пар трения. Классификация конструкционных материалов, применяемых в триботехнике
18.Классификация видов изнашивания и их общая характеристика
19.Классификация поверхностей трения. Совпадающие и несовпадающие поверхности
20.Виды трения. Внешнее и внутреннее трение. Путь и работа трения. Коэффициент трения
21.Фреттинг-коррозия. (характеристика, параметры, механизмы, примеры и т.п.)
22.Технологические методы повышения триботехнических свойств
23.Термическая и химико-термическая обработка поверхностей трения
24.Поверхностное пластическое деформирование (ППД)
25.Обработка поверхностей трения концентрированными потоками энергии (КПЭ)
26.Формирование регулярных рельефов и регулярных структур поверхностного слоя
27.Эксплуатационные методы повышения триботехнических свойств
28.Методы восстановления изношенных поверхностей.
29.Экспериментальные методы исследования износостойкости материалов и узлов трения
30.Пары трения качения и трения скольжения (характеристика, параметры, механизмы и виды изнашивания, примеры и т.п.)

4 Требования к содержанию и оформлению контрольной работы

Контрольная работа выполняется в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам для студентов очной и заочной форм обучения.

Во введении (объем 3-5 с.) приводятся основные понятия и определения, используемые в триботехнике, основные виды изнашивания, роль смазки, методы повышения износостойкости.

В теоретической части (объем 8-10 с.) работы излагаются следующие вопросы:

1) спецвопрос «Тематика теоретической части...» (выбирается из списка в соответствии с вариантом, объем 2-3 с);
2) назначение, области применения, условия работы фрикционных передач;
3) виды изнашивания рабочих поверхностей колес передачи и критерии износа;
4) материалы колес, их механические свойства, виды применяемых смазок;

5) основные расчетные формулы с пояснением всех входящих величин (кроме общеизвестных, например, числа **«л»).**

В расчетной части (объем 2-3 с.) приводятся исходные данные для расчета, выбранные в соответствии с вариантом (см. п. 5.1.) и схема фрикционной передачи в необходимом масштабе.

Определить максимальную величину износа на рабочих поверхностях колес открытой фрикционной цилиндрической передачи:

- вычислить необходимую силу прижатия в передаче и полуширину полоски контакта;
- вычислить контактные напряжения;
- определить интенсивность изнашивания колес передачи;
- вычислить величину изношенного слоя ведущего и ведомого колес передачи;
- определить допустимый ресурс работы фрикционной передачи и сравнить с заданным;
- сделать выводы.

Расчет осуществляется в соответствии с вышеперечисленными пунктами и сопровождается краткими пояснениями и обязательными ссылками на используемые формулы, графики и таблицы.

В заключении даются выводы по результатам проведенного расчета (например, обеспечивается или нет заданный ресурс работы передачи) и приводится список использованной литературы.

При выполнении контрольной работы следует руководствоваться учебными пособиями: 1. Боярских Г. А., Боярских И. Г. Надёжность горных машин и оборудования. Учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2009, 115 с. 2. Боярских Г. А., Боярских И. Г. Надёжность горных машин и оборудования. Методические указания. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 60 с. 3. Боярских Г. А. Теория старения машин. Учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2006, 173 с. 4. Боярских Г. А. Теория старения машин. Методические указания. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 48 с. 5. Багмутов, В. П. Изнашивание деталей узлов трения наземных транспортных средств: учебное пособие / В. П. Багмутов, А. Н. Савкин, С. Н. Пар-шев; ВолгГТУ. - Волгоград, 2011.- 56 с.

6. Багмутов В. П. Обеспечение триботехнических свойств деталей узлов трения наземных транспортных средств: учебное пособие / В. П. Багму-тов, А. Н. Савкин, С. Н. Паршев; ВолгГТУ. - Волгоград, 2011.- 59 с.

7. Багмутов, В. П. Конструктивные методы обеспечения триботехнических свойств деталей узлов трения наземных транспортных средств: учебное пособие / В. П. Багмутов, А. Н. Савкин, С. Н. Паршев; ВолгГТУ. - Волгоград, 2012.- 62 с.

Контрольная работа выполняется на листах формата А4, в соответствии с требованиями ЕСКД к расчетно-пояснительным запискам.

При оформлении на ПК в редакторе WORD используется шрифт «Times New Roman», 14пт, 1,5 инт., поля: верхнее и нижнее 3 см.; левое 3,5 см.; правое - 2,5 см.

На следующей странице приведен образец оформления **титульного листа** контрольной работы. Контрольная работа **в прозрачном скоросшивателе регистрируется** и сдается преподавателю не позднее срока, определенного графиком учебного процесса.

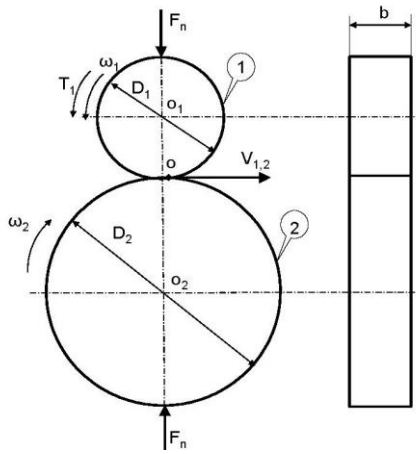


Рис.1

ФРИКЦИОННАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА

1 - ведущее колесо; 2 - ведомое колесо

D_1 и D_2 - диаметры ведущего и ведомого колес, мм;

$V_{1,2}$ - окружные скорости (качения) точек рабочих поверхностей ведущего и ведомого колес, м/с;

$\omega_{1,2}$ - угловые скорости ведущего и ведомого колес, рад/с;

F_n - сила прижатия колес, Н;

T_1 - крутящий момент на ведущем колесе;

b - ширина колес, мм;

o - точка контакта;

o_1 и o_2 - оси вращения колес.

<u>Пример 1.</u> Расчет на износ направляющих скольжения токарного станка.

Требуется оценить износ направляющих скольжения токарного станка за 1000 ч работы при относительной скорости скольжения u = 50 мм/с, если известно, что пара трения чугун-чугун (СЧ18) и средняя интенсивность изнашивания рассматриваемого трибосопряжения согласно таблице А1, составляет $I_h = 10^{-10}$. По формуле (А1) рассчитываем линейный износ

$$U = I_h \cdot u \cdot t = 10^{-10} \cdot 50 \cdot 1000 \cdot 3600 = 0{,}018 \text{ мм}.$$

Здесь при вычислениях в формулу подставлен численный коэффициент 3600, чтобы перевести число часов в секунды.

М.М. Хрущовым установлено, что для металлов и отожженных сталей при абразивном изнашивании интенсивность изнашивания пропорциональна давлению p

и обратно пропорциональна твердости изнашиваемого материала, если твердость материала не превышает 0,6...0,75 твердости абразива. По данным отдельных исследователей оказалось, что при трении разных материалов в абразивной среде влияние твердости может быть несколько иным.

В формуле (А2) $к$ - коэффициент изнашивания, м3/Н-м. Он равен объемному износу, приходящемуся на единицу нагрузки (Н) и единицу пути (м).

Данные по значениям $к$ при изнашивании антифрикционных полимерных материалов при трении о сталь и сведения о величинах предельно допустимых давления в контакте [р], а также произведения давления на скорость $[p \cdot$ и] приведены в таблице А2

Таблица 2 - Параметры, характеризующие износостойкость

Материал	Коэф. изнашивания к, $м^3/(Н \cdot м)$	Предельное давление [р], МПа	Предельное значение $[p \cdot$ и], МПа-м/с
1	2	3	4
Силон	$7 \cdot 10^{-15}$	5	0,08
Технил	$3 \cdot 10^{-13}$		0,10
Маслянит КСПЭ, КСЦ	$3 \cdot 10^{-13}$	5	0,10
ПА 6-1-203	$2 \cdot 10^{-13}$		0,09
КПФА	$2 \cdot 10^{-13}$		0,09
САМ-4, САМ-5	$2 \cdot 10^{-13}$		0,09
АТМ -2	$3 \cdot 10^{-14}$	1	0,10
Капролон В, монокаст	$4 \cdot 10^{-15}$		0,08
Найлотрон	$6 \cdot 10^{-14}$		0,10
Ренил	$2 \cdot 10^{-15}$		0,08
ПА 610-1-109, маслянит	10^{-13}		0,10
СФД	$2 \cdot 10^{-15}$	0,5	0,08
СТД	$2 \cdot 10^{-15}$		0,08
СФД-ВМ	10^{-14}		0,10

Пример 2. На текстолитовое зубчатое колесо диаметром d_w и шириной b = 20 мм действует сила в зацеплении F = 200 Н. Под действием этой силы колесо вращается с частотой 200 мин$^{-1}$ на оси диаметром d = 18 мм. Требуется оценить износ текстолита U в трибосопряжении колесо-ось, который может произойти за четыре месяца работы (2000 ч), если известно, что согласно таблице 12 коэффициент изнашивания для текстолита составляет $к$ = 4-10^{-16} м^3/Н-м, допускаемое давление [р] = 5 МПа и допускаемое произведение давления на скорость [р-и]= 0,1 МПа-м/с.

1) Находим значение p иp-$и$ в трибосопряжении: p = F/(ab) = 200/(18-20) = 0,555 МПа,

$и$ =ndn/60= 3,13-18-200/(60-1000) = 0,1884 м/с. p- $и$ = 0,555-0,1884 = 0,1046 МПа-м/с, сопоставляя действующие и допускаемые значения p и p- и, видим, что действующие не превышают допускаемых.

2) Вычисляем I_h:

$I_h = k$-p =4-10^{-16}-0,5 5 5-10^6 = 2,2 -10$^{-10.}$ 3) Оцениваем износ:

$U = I_h$- $и$ -t = 2,2-10^{-10}-0,1884-2000-3600 = 0,3-10^{-3} м.

Для случая замены материала, например на капролон, и режимов работы может быть предложена следующая формула для пересчета интенсивности изнашивания

$$I_h = \frac{CP^m f^n}{H^e}$$

где C - коэффициент пропорциональности; f - коэффициент трения;

m , n , e - показатели степеней, зависящие от влияния смазки, термообработки деталей и степени близости давления p к предельному значению, при котором может произойти схватывание материала.

В формуле (А3) показатели степени можно применять следующие: n = 1 в большинстве случаев; e = 2...3, если имеет место трение закаленной стали по закаленной стали, что связано с резко повышенным у закаленных сталей сопротивлением к схватыванию, которое существенно ускоряет изнашивание поверхностей деталей ТС; e = 1, если происходит трение стали по другому материалу. При технически сухом трении деталей (без смазки) и при граничном трении деталей со смазкой в случае, если $p \le$ (0,7...0,8) [р], принимают m = 1, а при большем давлении m = 2...3. При смешанном трении деталей со смазкой при любых давлениях m= 3. Интенсивность изнашивания растет пропорционально количеству поступающего в зону трения абразива q. Поэтому если известно q, то как при смазке, так и без нее

$$I_h = \frac{Cqp}{H^e}$$

В формулу (А4) вместо f^n (см. формулу (А3)) вводится параметр q.

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов

Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки– «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО:
Методической комиссией
горно-механического факультета
«12» февраля 2015 г.
Председатель комиссии
проф. В.П. Барановский

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов

Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки – «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

УДК 621.757 (076.5)

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств. Учебное пособие по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки– «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения. Екатеринбург: Изд-во. УГГУ, 2017. 24 с.

Пособие предназначено для использования при выполнении курсовой работы и выполнении соответствующих разделов дипломных проектов студентами всех форм обучения.

В пособии приводится последовательность проектирования механосборочного участка на основе типизации запланированных к выпуску изделий. Приведены необходимые данные по нормам проектирования машиностроительных предприятий.

Справочно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 09.12.16 г. (протокол № 1) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Рецензент – Н. М. Суслов, докт. техн. наук, профессор кафедры ГМК УГГУ.

© Горшков Э.В.,
Симисинов Д. И., 2017
© Уральский государственный
горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Каждое предприятие, выпускающее горные машины, имеет в своем составе более или менее развитые три части: основное производство (механические, термические, сварочные, гальванические, сборочные, окрасочные цеха или участки), заготовительное производство (литейные, кузнечные, метизные цехи или участки), вспомогательное производство (энергетический, ремонтный, инструментальный, транспортный цехи или участки, склады и др.).

Проектирование всего этого комплекса задача весьма сложная, для ее решения существуют специальные проектные институты (например, Уралгипротяжмаш).

Для проектирования небольших предприятий или участков, ориентированных на выпуск новой продукции, а также для предварительных расчетов при организации нового производства (к примеру, составлению проектов, бизнес-планов) требуется выполнить эту работу в короткие сроки с минимальными трудозатратами.

Наибольший объем в проектировании занимает определение трудоемкости изготовления запланированных к выпуску изделий. Решение задачи в значительной мере упрощается приведением подлежащих изготовлению изделий к типовым представителям.

Методика по определению трудоемкости изготовления изделий по типовому представителю, а так же все последующие этапы проектирования технологической части цехов и участков механосборочного производства приведены в данном справочно-методическом пособии.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков по определению трудоемкости изготовления сложных машиностроительных изделий на основе типизации, разработки технологического процесса сборки и основам проектирования технологической части цехов и участков механосборочного производства.

Выполнение работы основывается на самостоятельном творчестве студента, развивающем его инициативу в решении технологических задач, а так же экономического анализ принятых решений.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Работа заключается в проектировании технологической части участка механосборочного производства заданного изделия при заданном объеме выпуска.

Задание представляет собой конструкторскую документацию на выпускаемое изделие, включающее сборочный чертеж и деталировку.

Работу рекомендуется выполнять в следующей последовательности и включающей разделы:

1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали.

2. Расчет потребного оборудования.

3. Разработка сборочной схемы.

4. Разработка и планировка механосборочного участка.

Работа оформляется в виде чертежа планировки механосборочного участка и пояснительной записки.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали

Для сокращения объема расчетов трудоемкости изготовления, подлежащие изготовлению детали, входящие в изделие, условно приводятся к типовому представителю. В качестве типового представителя выбирается деталь, которая выпускается в наибольшем количестве, а по конструкции и технологическому процессу сходна с большинством деталей данной группы (в данной работе типовая деталь задается преподавателем).

Разрабатывается технологический процесс изготовления типовой детали, определяется тип производства и трудоемкость ее изготовления, выполнение данного этапа изложено в части 1 данного методического руководства [1]. В таблицах П.1, П.2 приложения приведены формулы для упрощенного расчета нормы штучного времени. Технологический процесс в работе оформляется в форме маршрута обработки.

Для определения трудоемкости остальных деталей, входящих в план производства, предлагается воспользоваться коэффициентом приведения K

$$K = K_{м} \cdot K_{сер.} \cdot K_{сл.}, \qquad (1)$$

где $K_{м}$, $K_{сер}$, $K_{сл}$ – соответственно коэффициенты, отражающие различия масс, серийности, сложности.

Коэффициент массы определяется по формуле:

$$K_{м} = (Q_i / Q_{тип})^{2/3}, \qquad (2)$$

где $Q_{тип}$ - масса типовой детали;

Q_i - масса i-ой детали, кг.

При весе детали менее 1 кг учитывать различие в массах деталей нецелесообразно.

Коэффициент серийности:

$$K\text{сер} = (N\text{тип} / Ni)^{0,2}, \quad (3)$$

где Ni - количество одинаковых i-х деталей в узле;

Nтип - количество одинаковых типовых деталей в узле.

Коэффициент сложности:

$$K\text{сл} = (Hi / H\text{тип})^{0,5}, \quad (4)$$

где Hi - количество обрабатываемых поверхностей у i-ой детали;

Hтип - количество обрабатываемых поверхностей у типовой детали.

Штучно-калькуляционное время для остальных деталей, мин.:

$$T\text{шт-к}_i = T\text{тип} \cdot K, \quad (5)$$

Ход и результаты расчетов оформляется по форме таблицы 1.

Таблица 1

Расчет трудоемкости изготовления деталей

Номер детали	Наименование детали	Кол-во в изделии	Kм	Kсер	Kсл	K	Tшт-к, мин.
						$\Sigma T\text{шт-к}_i$	

2. Расчет потребного оборудования

Определяется общее количество станков:

$$C_{общ} = \Sigma T_{шт\text{-}к} \cdot N_{г} / (F_{д} \cdot 60) \cdot \eta, \quad (6)$$

где $F_{д}$ - действительный годовой фонд времени работы оборудования, час; η – коэффициент использования рабочего времени оборудования, час. (принимается равным 0,85÷0,75);

Таблица 2

Примерное соотношение станков по группам для общего машиностроения

Станки	%
Токарные	40
Сверлильные	20
Фрезерные	15
Строгальные	5
Шлифовальные	10
Разные	10

Общее количество оборудования распределяется по группам в соответствии с установленным процентным соотношением видов станков от их количества, с учетом специфики изготовления изделия. В каждой группе целесообразно принимать различные по типу, точности и размерам станки (например, токарная группа 3 станка – принимаем: 2 токарно-винторезных станка, 1 токарно-револьверный).

Заполняется ведомость принятого основного оборудования в форме табл. 3.

Таблица 3

Ведомость принятого основного оборудования

Наименование	Марка	Кол.	Габариты	Площадь, $м^2$
			Итого:	

Кроме основного оборудования необходимо предусмотреть наличие вспомогательного:

- заточные станки (3÷5 % от общего количества станков);
- отрезные станки (например, дисковая пила для резки проката);
- слесарные верстаки основного и сборочного отделения, количество верстаков принимается 20÷25 % от $C_{общ}$;
- контрольные плиты, разметочные столы (5÷10 % от $C_{общ}$);
- инструментальные ящики (на каждый станок) и другое необходимое оборудование.

Ведомость вспомогательного оборудования заполняется в форме табл. 4.

Таблица 4

Ведомость принятого вспомогательного оборудования

Оборудование	Количество	Габариты, мм х мм	Площадь, м^2
Верстак слесарный		2200х1200	
Ящик для инструмента		800х500	
Плита контрольная		2000х1200	
Стол разметочный		2000х1200	
Итого:			

3. Разработка сборочной схемы

Составление технологических схем целесообразно при проектировании сборочных процессов для любого типа производства, так как они значительно упрощают разработку сборочных процессов. При разработке последовательности сборки нужно учитывать следующие правила:

1. В каждой сборочной единице должна быть найдена базирующая деталь, определяющая положение всех деталей составляющих данную сборочную единицу. С этой базовой детали (или узла) и должна начинаться сборка.

2. Каждая последующая, более сложная сборочная единица всегда должна содержать не менее одной предшествующей, более простой сборочной единицы.

3. Положение детали для общей сборки должно быть удобно для сборки всех узлов, без поворота и переустановки ее.

4. Смонтированные детали и узлы не должны мешать последующей сборке.

5. В первую очередь производится сборка и установка на базовую деталь сборочных единиц, выполняющих наиболее ответственные функции в работе.

6. Если узлы имеют взаимосвязанные элементы в размерных цепях, то сборка начинается с тех деталей, которые имеют общие взаимосвязанные размеры.

На рис. 1 в качестве примера показан фрагмент технологической схемы сборки.

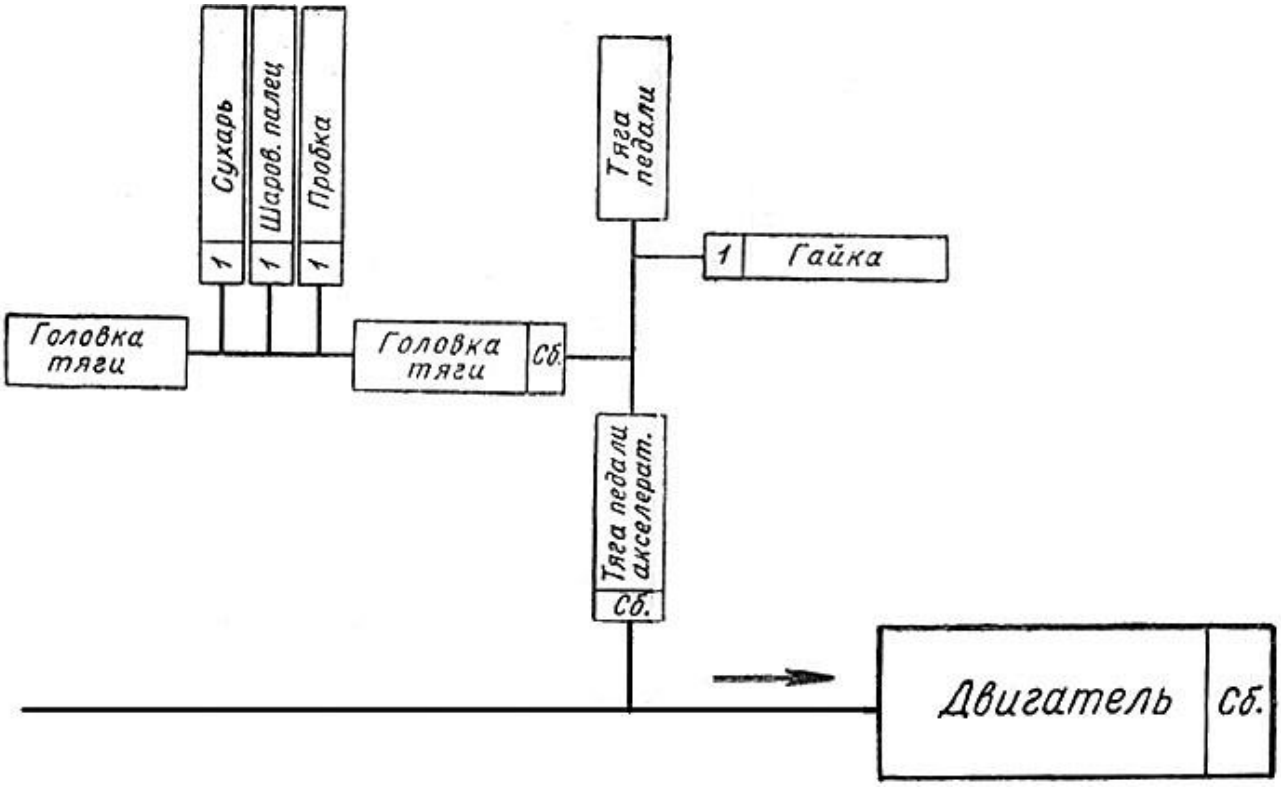


Рис. 1. Фрагмент схемы сборки

В левой части указывается базовый элемент, а в правой части – изделие в сборе. Эти две части соединены горизонтальной линией, выше и ниже которой обозначены все детали в порядке последовательности сборки и узлы, входящие непосредственно в изделие. Технологические схемы могут снабжаться надписями, если метод сборки не очевиден из схемы, например: «запрессовать», «сварить» и т. д.

4. Расчет площадей механосборочного участка

Площадь станочного отделения цеха, м^2:

$$S_{об} = (S_о + S_в)\cdot k_п, \qquad (8)$$

где $S_о$ - площадь основного оборудования (по табл. 3);

$S_в$ - площадь вспомогательного оборудования (по табл. 4);

$k_п = 3{,}5 \div 4$ коэффициент, учитывающий проходы и проезды;

Площадь механосборочного участка с учетом вспомогательных помещений, м^2:

$$S_{мсу} = S_{об} + S_{су} + S_{упр} + S_{скл} + S_{заг} + S_{сги}, \qquad (7)$$

где $S_{су}$ - площадь санузла (с учетом душевых и медпункта) – 10 % от общей площади;

$S_{упр}$ - площадь для управляющего персонала (производственные мастера), принимается 10÷20 м^2;

$S_{со}$ - площадь сборочного отделения принимается 20÷30 % от общей площади;

$S_{скл}$ - площадь складских помещений 10÷15 % от общей площади;

$S_{заг}$ - площадь заготовительных помещений – 5÷6 % от площади станочного отделения цеха.

5. Рекомендации по планировке механосборочного участка

После определения общей площади участка задаются его габаритные размеры. Для зданий, имеющих прямоугольную форму, целесообразно выдерживать соотношение ширины и длины не более 1:3. Габариты участка нормируется по *сетке колонн* – 12х6, 15х6, 18х6 м и ширине пролета, установленному 12 м – для легкого и 15, 18 м – среднего машиностроения. Ширина проезда на участке принимается 2÷3 м, в зависимости от типа транспорта, ширина проходов 1 м.

На плане указывают основные строительные элементы здания, относящиеся к проектируемому участку: наружные и внутренние стены, перегородки, ворота, двери, окна и антресоли. Показывают технологическое оборудование, производственный инвентарь (верстаки, стеллажи, инструментальные шкафы), подъемно-транспортное оборудование (за исключением безрельсовых самоходных и несамоходных транспортных средств: электрокар, погрузчиков и т. п.), проезды и проходы, необходимые для обеспечения рабочих мест материалами и запасными частями, а также площадки накопления изделий или материалов.

Технологическое оборудование изображают в принятом масштабе условным упрощенным контуром с учетом крайнего положения движущихся частей, открывающихся кожухов и устанавливаемых на оборудовании изделий, если последние выходят в плане за габаритные размеры оборудования. Внутри контура оборудования и производственного инвентаря или вне контура на выносной полке указывают его номер по спецификации к чертежу. Нумерацию обычно дают последовательно, в порядке размещения оборудования и инвентаря на чертеже, слева направо и затем сверху вниз.

Расположение станков и другого технологического оборудования, устанавливаемого на фундаменты, координируют относительно колонн

и стен здания. Указание на чертеже расстояний от оборудования до колонн и стен называют *привязкой оборудования*.

Условными обозначениями на чертеже показывают места расположения рабочих и места подсоединения к энергетическим сетям, водопроводу, вентиляции и канализации. Основные условные обозначения приведены на рис. 2 приложения.

Планы расстановки технологического оборудования выполняют, как правило, на стадии разработки проекта в масштабе 1:200, на стадиях разработки рабочей документации или рабочего проекта – в масштабе 1:100. В учебных проектах допускается применение масштабов 1:50 и 1:25.

К плану расстановки технологического оборудования прилагают спецификацию, содержащую в табличной форме следующие данные: номера по плану; наименование оборудования и инвентаря; краткую техническую характеристику; модель или тип; место изготовления; количество; примечания, в которых указывают мощность оборудования и потребителей воды, воздуха, пара, газа и других энергоресурсов. Допускается размещать спецификацию на свободном поле чертежа.

Расположение технологического оборудования, ширина и расположение проходов и проездов должны обеспечивать удобство и безопасность работы, подачи изделий, инструмента, уборки отходов и помещения, доступа к оборудованию для его обслуживания, ремонта, монтажа и демонтажа.

Расстояния между оборудованием и частями зданий (стенами, колоннами), размеры проходов и проездов должны быть не менее указанных в нормах технологического проектирования (табл. П.3), пример планировки – рис. 3, 4 приложения.

Одновременно с расстановкой производственного оборудования на планировке располагают подъемно-транспортные средства для обеспечения ремонта оборудования, а также перемещения поддонов с заготовками или готовыми изделиями (конвейеры, монорельсы, склизы, рольганги, мостовые краны и др., табл. 5).

Основным принципом расположения оборудования является обеспечения кратчайшего пути движения заготовок (деталей) в процессе их обработки.

Для этого необходимо при расстановке оборудования стремиться к соблюдению следующих наиболее важных условий:

1. Располагать оборудование по порядку выполнения операций технологического процесса.

2. Обеспечить полную комплектность оборудования на линии обработки, т. е. обеспечить ее всеми станками, нужными для обработки детали.

3. Расстояние между станками должно быть минимальным, при этом уменьшаются затраты труда на транспортировку заготовок от станка к станку, создаются лучшие условия для многостаночной работы и обеспечивается лучшее использование производственной площади.

4. Станки на линии должны быть расставлены так, чтобы было обеспечено (по возможности) одно направление всех обрабатываемых заготовок. Обычно линии станков для обработки заготовок располагаются параллельно друг другу. Проезды устраивают перпендикулярно этим линиям.

Кроме этого при разработке планировки необходимо учесть следующее:

- необходимо обеспечить монтаж и демонтаж любого станка без перестановки остального оборудования;

- следует учесть возможность многостаночного обслуживания;

- оборудование, работающее с длинномерными заготовками (токарно-револьверные станки и др.), устанавливается под углом 15 - 20 °.

Проектирование производственных участков необходимо проводить в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП), правилами безопасности жизнедеятельности, пожарной безопасности и санитарии. Правила установки оборудования с соблюдением техники безопасности даны в специальной литературе [2-7]. Там же приведены контуры и габаритные размеры станков.

Таблица 5

Подъемно-транспортное оборудование

Наименование	Грузоподъемность	Длина пролета, м
Кран мостовой с электротельфером	1, 2, 3, 5 т	5, 6, 7, … 17
Монорельс с электротельфером или электроталью	0,15; 0,25; 0,5; 1; 2; 3 т	–
Кран-укосина с электроталью (угол поворота до 270°)	От 0,25 т	Длина стрелы 1,2 - 4
Кран-балка электрифицированная	До 3 т	–
Рольганг	До 1000 кг/м	Ширина до 0,6

6. Определение технико-экономических показателей цеха

Разработав проект цеха механической обработки по полученному ранее заданию, необходимо оценить эффективность разработанного проекта в сравнении со средними технико-экономическими показателями по отраслям (табл. 6), в зависимости от изготовляемой продукции.

Таблица 6

Технико-экономические показатели производства по машиностроительным отраслям

Номер показат.	Показатели	Станкостроение	Тракторостроение	Тяжелое машиностроение
1	Выпуск на 1 производственного рабочего, т	10,9	60,0	30,0
2	Выпуск на 1 шт. производственного оборудования, т	17,5	68,0	83,3
3	Выпуск на 1 м² производственной площади, т	1,87	5,4	2,07
4	Трудоемкость 1 т обрабатываемых деталей, станко-часов	162,0	35,2	39,0
5	Средний коэффициент загрузки оборудования	0,83	0,64	0,86
6	Производственная площадь на единицу производственного оборудования, м²	21,4	12,5	40,0
7	Общая площадь на единицу производственного оборудования, м²	28,1	19,0	58,0
8	Коэффициент использования площади	0,76	0,65	0,69

Основной показатель рациональности расположения оборудования - коэффициент использования площади

$$k_{и.пл.}=S_{мсу}/S_{факт}, \quad (8)$$

где $S_{мсу}$ – расчетная сумма площадей занятых соответственно оборудованием для изготовления и обработки деталей и вспомогательными службами в соответствии с принятыми нормами (7);

$S_{факт}$ – фактическая площадь цеха, участка.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Приближенные формулы для определения основного технологического времени $T_o \cdot 10^{-3}$, мин.

Черновая обточка за один проход	0,17*dl*
Чистовая обточка по 11-му квалитету	0,1*dl*
Чистовая обточка по 9-му квалитету	0,17*dl*
Черновая подрезка торца R_a 6,3	0,037($D^2 - d^2$)
Чистовая подрезка торца R_a 1,6	0,052($D^2 - d^2$)
Отрезание	0,19D^2
Черновое и чистовое обтачивание фасонным резцом	0,63($D^2 - d^2$)
Шлифование грубое по 11-му квалитету	0,07*dl*
Шлифование чистое по 9-му квалитету	0,1*dl*
Шлифование чистовое по 6-му квалитету	0,15*dl*
Растачивание отверстий на токарном станке	0,18*dl*
Сверление отверстий	0,52*dl*
Рассверливание *d* = 20…60	0,31*dl*
Зенкерование	0,21*dl*
Развертывание черновое	0,43*dl*
Развертывание чистое	0,86*dl*
Внутреннее шлифование отверстий 9-го квалитета	1,5*dl*
Внутреннее шлифование отверстий 7-го квалитета	1,8*dl*
Черновое растачивание отверстий за один проход *Ra* 12,5	0,2*dl*
Черновое растачивание под развертку	0,3*dl*
Развертывание плавающей разверткой по 9-му квалитету	0,27*dl*
Развертывание плавающей разверткой по 7-му квалитету	0,52*dl*
(*d* – диаметр; *l* – длина обрабатываемой поверхности; *D* – диаметр обрабатываемого торца; (*D* – *d*) – разность наибольшего и наименьшего диаметров обрабатываемого торца)	
Протягивание отверстий и шпоночных канавок (*l* – длина протяжки, мм)	0,4*l*
Строгание черновое на продольно-строгальных станках	0,065*Bl*
Строгание чистовое под шлифование или шабрение	0,034*Bl*
Фрезерование черновое торцевой фрезой - за проход - чистовое	6*l* 4*l*
Фрезерование черновое цилиндрической фрезой	7*l*
Шлифование плоскостей торцом круга	2,5*l*
(*B* – ширина обрабатываемой поверхности, мм; *l* – длина обрабатываемой поверхности, мм)	
Фрезерование зубьев червячной фрезой (*D* = 30 … 300 мм)	2,2*Db*
Обработка зубьев червячных колес (*D* = 100 … 400 мм) (*D* – диаметр зубчатого колеса, мм; *b* – длина зуба, мм)	60,3*D*

Окончание табл. П.1

Фрезерование шлицевых валов методом обкатки	9*lz*
Шлицешлифование (*l* – длина шлицевого валика, мм; *z* – число шлицев)	4,6*lz*
Нарезание резьбы на валу (*d* = 32…120)	19*dl*
Нарезание метчиком резьбы в отверстиях (*d* = 10 … 24) (*d* – диаметр резьбы, мм; *l* – длина резьбы, мм)	0,4*dl*

Таблица П.2

Значение коэффициента φ_k

Виды станков	Производство	
	единичное и мелкосерийное	крупносерийное
Токарно-револьверные	1,98	1,27
Токарно-многорезцовые	–	1,35
Вертикально-сверлильные	1,72	1,50
Радиально-сверлильные	1,75	1,30
Расточные	3,25	1,41
Круглошлифовальные	2,10	–
Строгальные	1,73	1,55
Фрезерные	1,84	–
Зуборезные	1,66	1,51
Токарные	2,14	1,27
Примечание: штучно-калькуляционное время $T_{ик} = \varphi_k T_o$.		

Таблица П3

Нормы расстояний между станками и элементами зданий

Расстояния	Величина расстояния, мм при размерах станков, м		
	мелкие (до 1,8х0,8)	средние (до 2,4х1,2)	крупные (до 4х2)
При расположении фронтальными сторонами к проезду			
Между боковыми сторонами	700	900	1200
Между тыльными сторонами	700	800	1000
При поперечном расположении к проезду			
Расположение станков в «затылок»	1300	1500	1800
Расположение станков в фронтом к друг другу	2000	2500	2800
То же при многостаночном обслуживании	1300	1500	-
От стен или колонн здания до тыльной или боковой стороны станка	700	800	900
То же до фронта станка	1300	1500	1800

Группы элементов	Условное обозначение	Наименование элементов
Строительные элементы		Граница участка (отделения)
		Проезд
		Железобетонная колонна с фундаментом
		Распашные ворота
		Металлическая колонна с фундаментом
		Раздвижные односторонние ворота
		Капитальная стена
		Перегородка из прозрачных материалов
		Барьер
		Перегородка щитовая сборная
		Люк
		Место складирования деталей, агрегатов
Технологическое оборудование		Оборудование с номером по плану
		Место производственного рабочего
	5 5	Место рабочего при многостаночном обслуживании
	В	Верстак
	РП	Разметочная плита
	КП	Контрольная плита
	КС	Контрольный стол
Подводы жидкостей, газов, электропотока		Подвод холодной воды
		Подвод горячей воды
		Подвод холодной воды с отводом в канализацию
		Подвод горячей воды с отводом в канализацию

Группы элементов	Условное обозначение	Наименование элементов
Подводы жидкостей, газов, электропотока		Слив промышленнных стоков в канализацию
	М	Подвод масла
		Подвод пара
		Подвод сжатого воздуха
		Подвод конденсата
		Подвод природного газа
		Подвод ацетилена
		Подвод кислорода
		Местный вентиляционный отсос
	кВт	Потребитель электроэнергии
	...В...кВт 3	Розетка штепсельная трехфазная
	...В...кВт 1	Розетка штепсельная однофазная
		Осветительная розетка до 36 В
	Щ	Щит управления
Подъемно-транспортное оборудование	...Т	Мостовой электрический кран
	...Т	Опорная кран-балка
	...Т	Однобалочный подвесной кран
	...Т	Козловой кран
	...Т	Монорельс под электрическую таль
	...Т	Консольно-поворотный кран
		Пластинчатый конвейер
		Рольганг
		Рельсовый путь

Рис. 2. Условные обозначения элементов строительных конструкций и оборудования

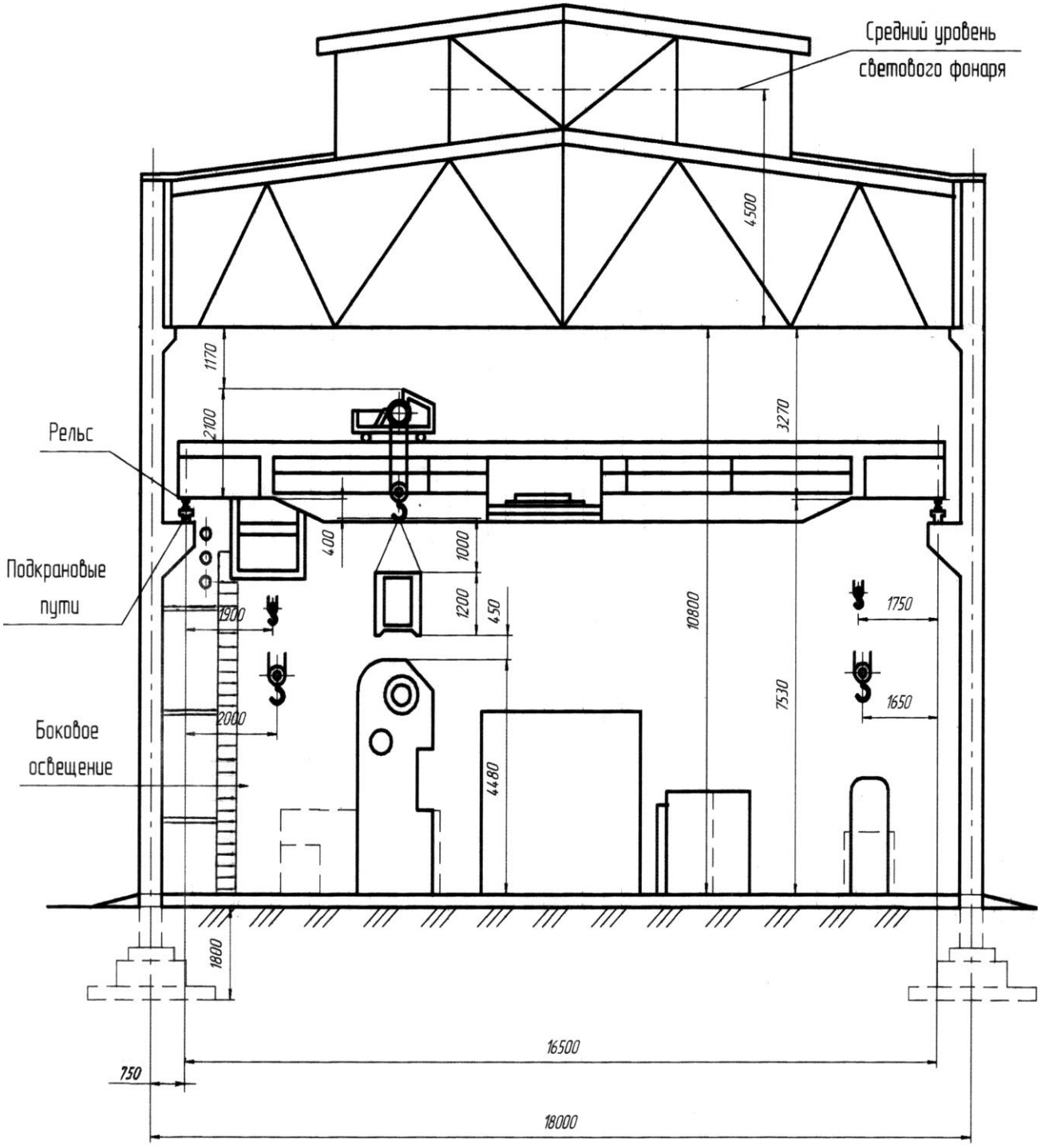


Рис. 3. Сечение производственного здания

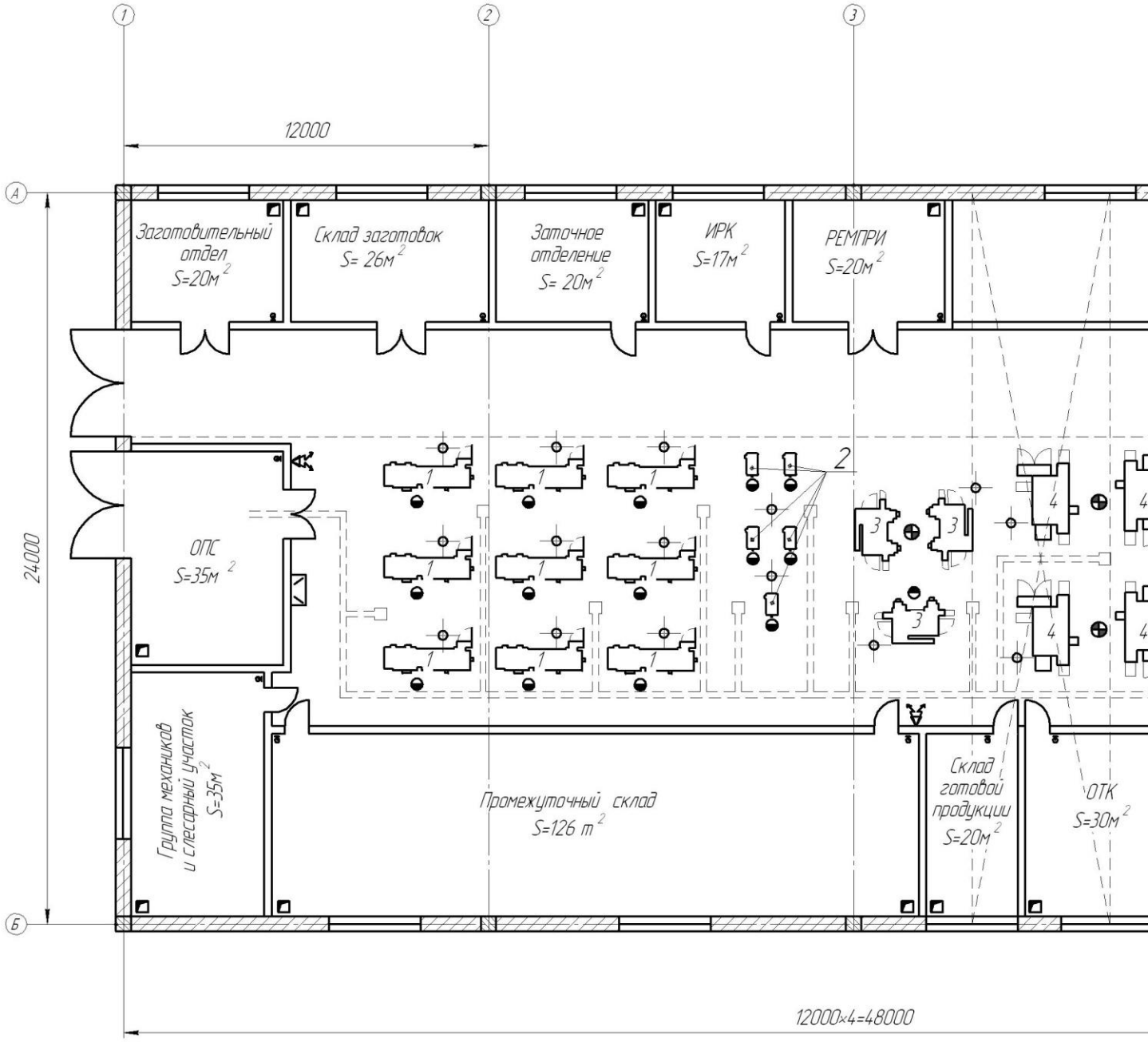
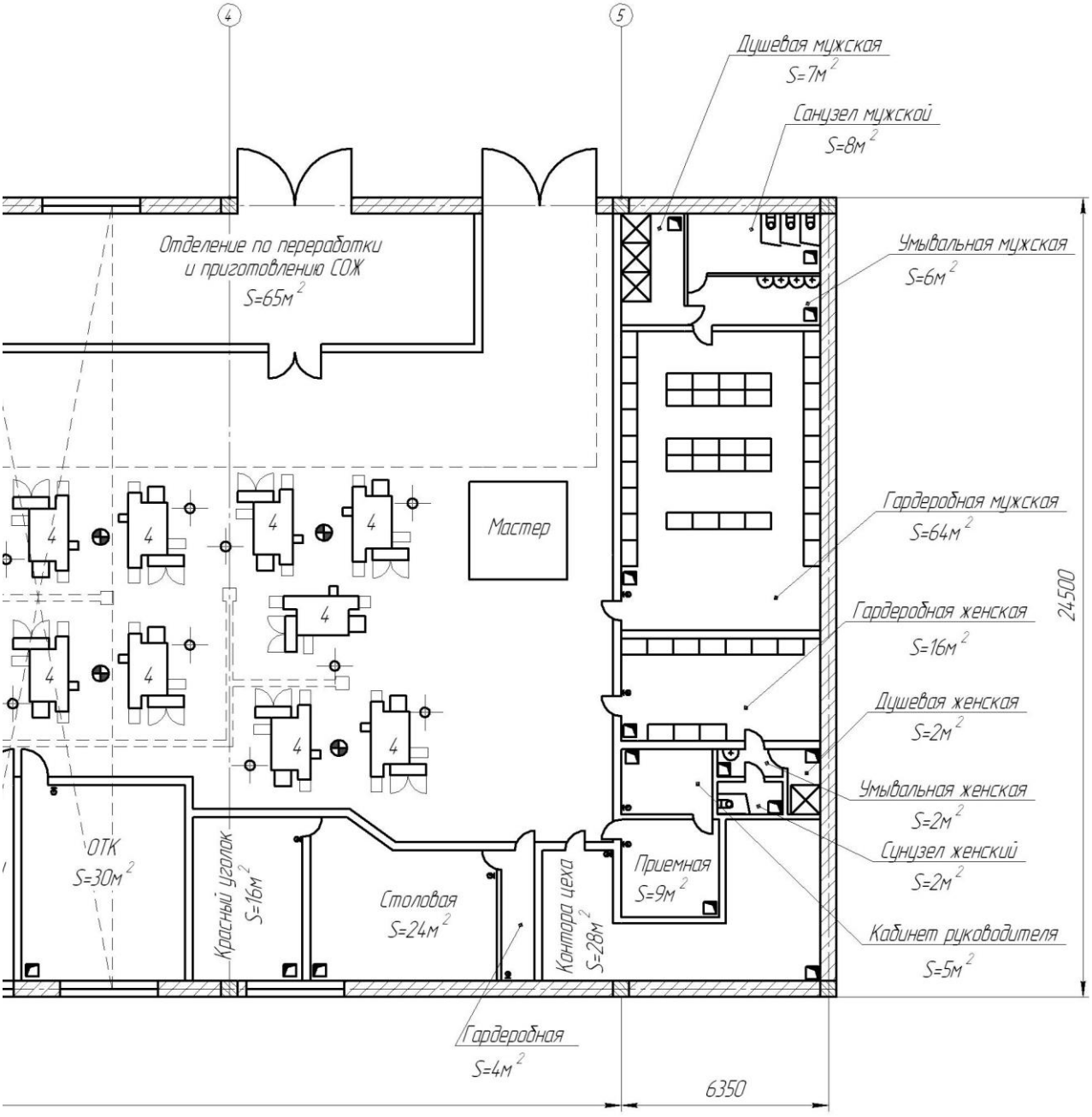


Рис. 4. Пример планировки механо-



-сборочного цеха (фрагмент)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Графические изображения станков М 1:100

Станки подразделяют:

- по степени универсальности – на универсальные и специализированые;
- по массе - на легкие (до 1т), нормальные (до 10т), крупные (до 30т); тяжелые (до 100т) и универсальные (более 100 т);
- по точности: нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В), особовысокой (А), особоточные и прецизионные (С).

Условное обозначение (индекс) станка состоит из трех или четырех цифр и букв: первая цифра - группа станка (например 1 - токарный) вторая цифра - тип или разновидность, третья или четвертая цифра – типоразмер, следующая цифра (или две) - параметры обработки.

Буква, стоящая после первой цифры указывает на исполнение станка по точности.

Буквы, стоящие в конце типовой части - модификация базовой модели.

Пример: 1Г325: 1- токарной группы; Г - модификация; 3 - револьверный; 25 - диаметр прутка (мм).

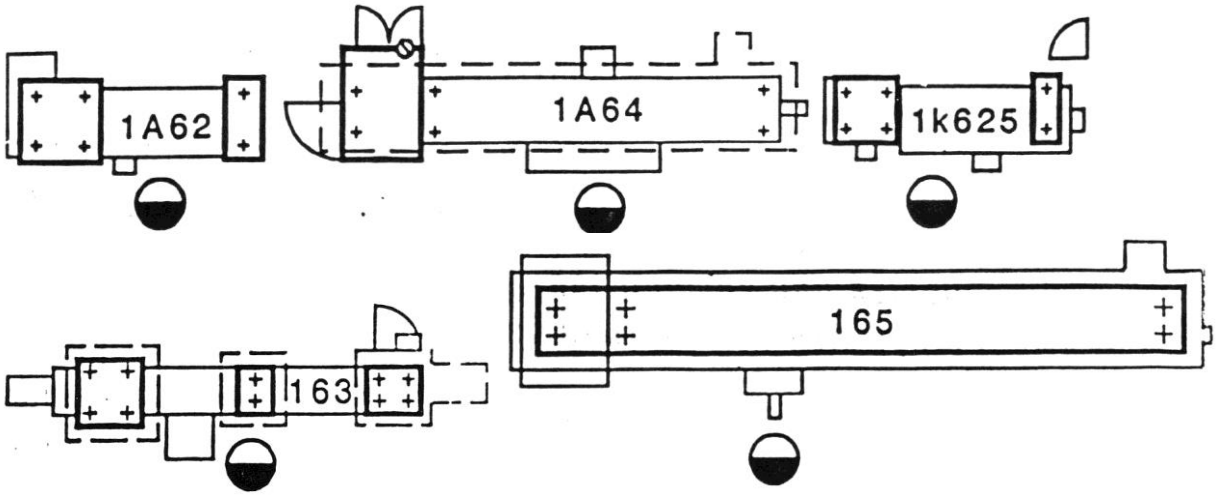
При наличии дополнительных конструктивных особенностей (программное управление, цифровая индексация, магазин с автоматической сменой инструмента) в индексе добавляют следующие буквы:

Ц - цикловое программное управление, Ф1 - цифровая индексация, Ф2 - числовое позиционное программное управление, ФЗ - числовое контурное программное управление, Ф4 и Ф5 - многопозиционные станки, Р - поворотная револьверная головка для автоматической смены инструмента, М - магазин.

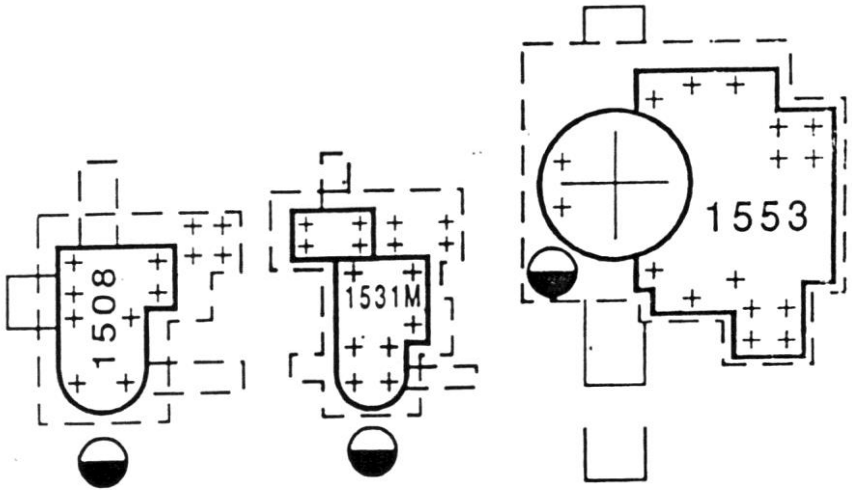
Ниже в контурах станков указаны обозначения моделей станков. М 1:100

ТОКАРНЫЕ

Токарно-винторезные

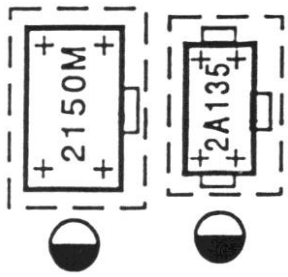


Токарно-карусельные

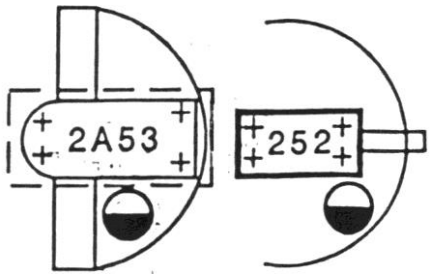


СВЕРЛИЛЬНЫЕ

Вертикально

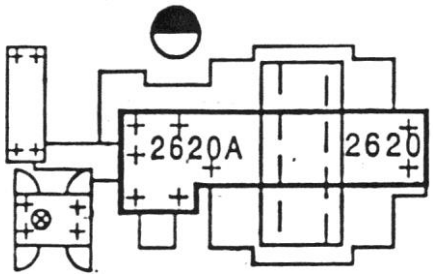


Радиально

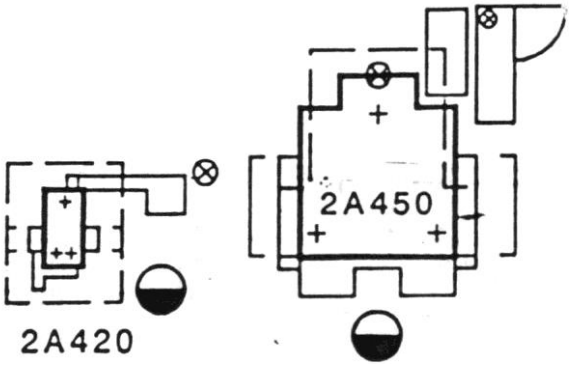


РАСТОЧНЫЕ

Горизонтально

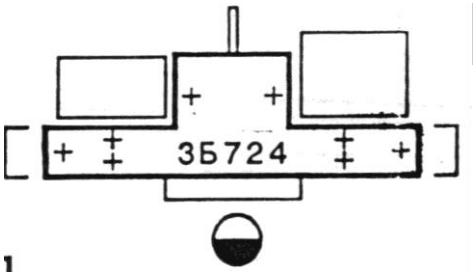


Координатно-расточные

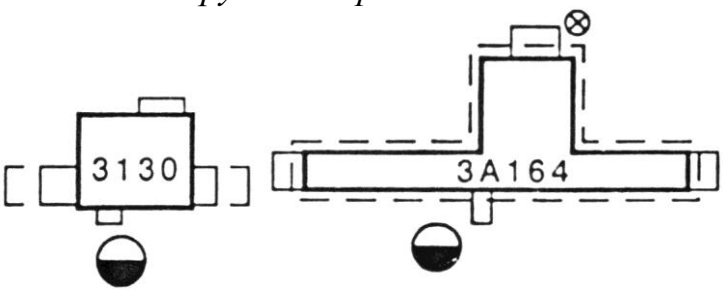


ШЛИФОВАЛЬНЫЕ

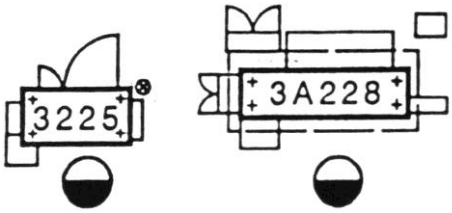
Плоскошлифовальный



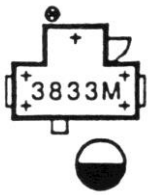
Круглошлифовальные



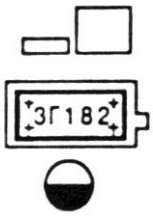
Внутришлифовальные



Хонинговальный

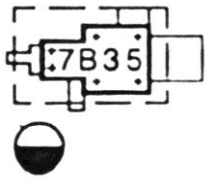


Бесцентрошлифовальный

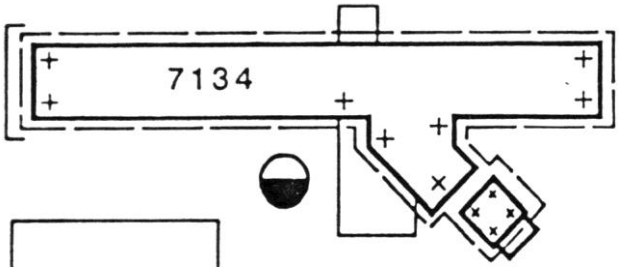


СТРОГАЛЬНЫЕ

Поперечно

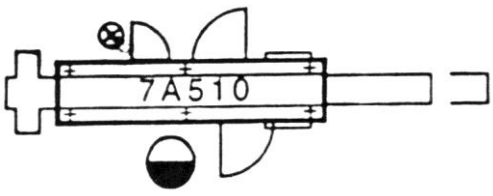


Продольно

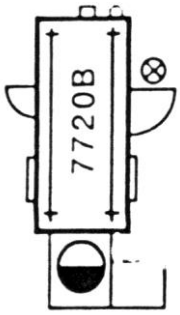


ПРОТЯЖНЫЕ

Горизонтально

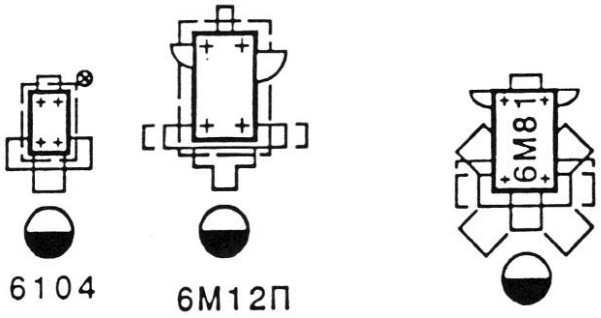


Вертикально



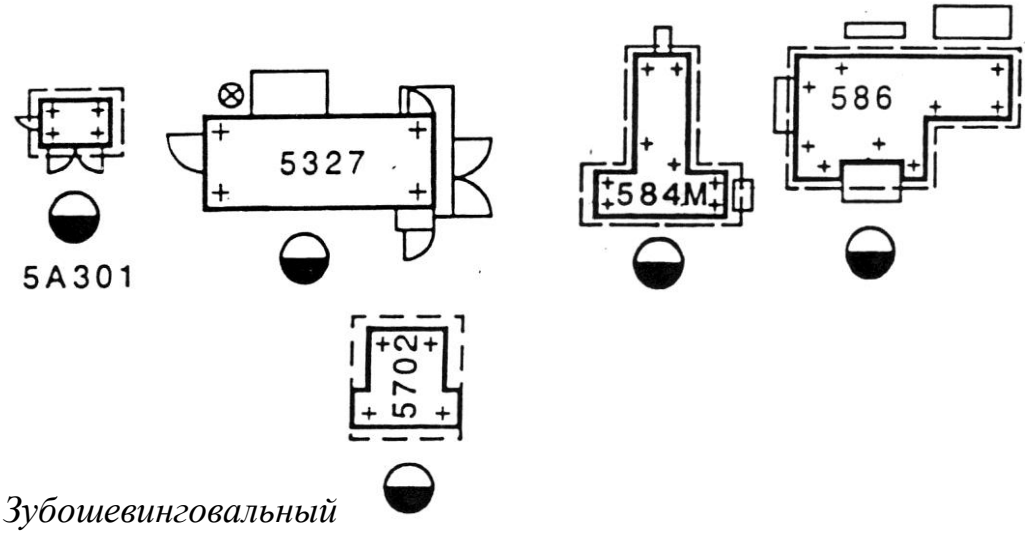
ФРЕЗЕРНЫЕ

Вертикально *Консольно*



ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ

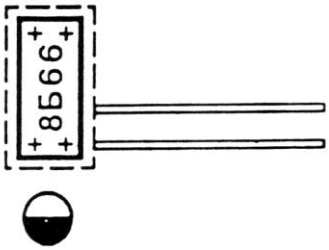
Зубофрезерные *Зубошлифовальные*



Зубошевинговальный

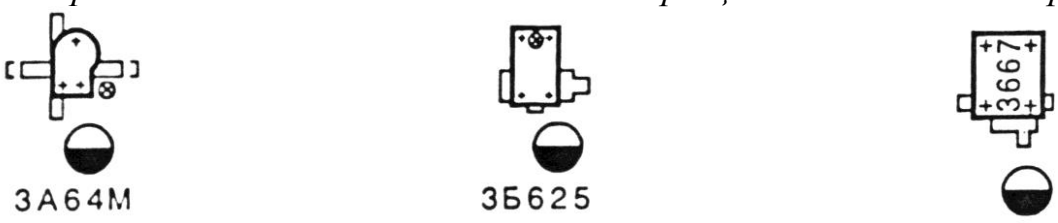
РАЗНЫЕ

Дисковая пила



Станки для заточки инструмента

универсально-заточные *для заточки резцов* *для заточки фрез*



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология производства горных машин. Часть 1. Справочно-методическое пособие по выполнению технологической части курсового проекта и ВКРИ для студентов специальности 150402 – «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 62 с.

2. *Егоров М. Е.* Основы проектирования промышленных предприятий. М.: Машгиз., 1968.

3. *Дмитриев В. Т., Боярских Г. А.* Проектирование технологических процессов восстановления деталей и ремонтных баз горных предприятий: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. 140 с.

4. *Мельников Г. Н., Вороненко В. П.* Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Под ред. А. М. Дальского. -М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

5. *СНиП* 10-01-94. Основные положения.

6. *СНиП* 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

7. *СНиП* 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ЦЕЛЬ РАБОТЫ 4
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ 5
1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали 5
2. Расчет потребного оборудования 7
3. Разработка сборочной схемы 8
4. Расчет площадей механосборочного участка 10
5. Рекомендации по планировке механосборочного участка 10
6. Определение технико-экономических показателей цеха 14
ПРИЛОЖЕНИЯ 16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 21
ОГЛАВЛЕНИЕ 27

Таблица перевода ОСТ – СЭВ 144-75

Классы точности		Квалитет	Обозначение шероховатости	
валы	отверстия		новое	старое
0,7		*JT*3	0	∞
0,8		*JT*4	320	∇ 1
1	0,9	*JT*5	*Rz*160	∇ 2
2	1	*JT*6	*Rz*80	∇ 3
2 а	2	*JT*7	*Rz*40	∇ 4
-	2 а	*JT*8	*Rz*20	∇ 5
3		*JT*9	2,5	∇ 6
3 а		*JT*10	1,25	∇ 7
4		*JT*11	0,63	∇ 8
5		*JT*12 - *JT*13	0,32	∇ 9
7 - 8		*JT*14 - *JT*15	0,16	∇ 10

Эдуард Викторович Горшков
Денис Иванович Симисинов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ (УЧАСТКОВ) МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки – «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Корректура кафедры эксплуатации горного оборудования

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.1,75. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Лаборатория множительной техники

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
Б1.В.09 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Специальность
15.03.01 Машиностроение

программа подготовки бакалавриата
Направленность (профиль)/ специализация
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Горшков Э.В., доцент, к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знании должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны - это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Проектирование цехов и участков машиностроительного производства» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к выполнению *контрольной работы* и сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Проектирование цехов и участков машиностроительного производства» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ТЕМА 1: ***Предпроектное обследование и подготовка исходных данных для проектирования***.

1.Основные цели и задачи, решаемые при проектировании*?*
2.Состав экономических задач при проектировании завода*?*
3.Какие технические задачи необходимо решать при проектировании машиностроительного завода?
4.Организационные задачи проработка которых необходима при проектировании машиностроительного производства?
5.Этапы проектирования (ТЭО, выбор площадки под строительство, задание на проектирование)?
6.Кем разрабатывается и что включает в себя ТЭО?
7.Кто составляет задание на проектирование?
8.Что должно включать в себя задание на проектирование?
9.Стадийность проектирования заводов.
10.Кто и с какой целью разрабатывает бизнес план по строительству и реконструкции машиностроительного предприятия?

Тема 2: ***Определение состава, количества основного технологического оборудования и плана его расположения в цехе (участке).***

1. Что изображается на генеральном плане завода?
2.Какие периоды включает в себя разработка генерального плана машиностроительного предприятия?
3.Исходные данные для составления генерального плана завода?
4.На какие виды подразделяются заводские цеха?
5.Состав производственных цехов.
6. Состав вспомогательных цехов.

7.Обслуживающие цехи и устройства.

8.Принципы заложенные в основу проектирования генерального плана.

9.На какие виды подразделяется транспорт машиностроительного предприятия?

10.Какие коэффициенты характеризуют эффективность экономических расчетов генерального плана?

11.Какие виды оборудования располагаются в цехе?

12.Какими методами производится расчет количества единиц основного оборудования механического цеха?

ТЕМА 3: ***Проектирование производственного помещения цеха.***

1.Основной принцип, которому следует придерживаться при планировке оборудования в цехе?

2.Каким образом располагаются станки участков или линий?

3.Какими правилами и приемами необходимо руководствоваться при выполнении планировки оборудования в цехе?

4.Какими нормами регламентируется расстояние между станками, между станками и элементами здания, ширина проездов в зависимости от применяемых транспортных средств?

5.Могут ли быть увеличены нормы на расстояния между станками, между станками и элементами здания, ширину проездов?

6.Какова рекомендованная длинна участков цеха, занятых станками, для условий машиностроительных заводов?

7.Во сколько рядов могут быть расположены станки вдоль участка?

8.Каким образом могут располагаться технологические линии на пролетах механического цеха?

9. Каким образом могут быть расположены станки по отношению к проезду?

10.Как могут быть расположены станки по отношению друг к другу?

. **ТЕМА4:** ***Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий машиностроительного предприятия.***

1.Какие параметры сетки колонн приняты для одноэтажных многопролетных зданий машиностроительного предприятия?

2.Укажите последовательность выполнения компоновки проектируемого цеха?

3.Перечислите основные конструктивные элементы промышленных зданий, оказывающие влияние на размещение технологического оборудования?

4.Указывается ли технологическое оборудование на компановочном плане?

5.Какие способы определения площадей производственных участков цеха Вы знаете?

6.Учитывается ли ширина магистральных проездов при определении площадей производственных участков цеха?
7.Почему для размещения станочного оборудования отдается предпочтение одноэтажным многопролетным зданиям, а не многоэтажным?
8.Каким образом производится расчет основных параметров производственного помещения цеха?
9.Какие компановочные и планировочные решения механических цехов Вы знаете?
10.Чем обусловлен выбор того или иного варианта компановки участков в цехах различного производственного назначения?

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики– это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое

прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или

статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их

может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;

- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;

- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественно-научным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого излагается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «Проектирование цехов и участков машиностроительного производства» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Проектирование цехов и участков машиностроительного производства».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во -первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и

удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....6

Содержание практических занятий.....9

1. **ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА СВОЙСТВ**.....10

Краткие теоретические сведения..... 10

Иерархическая структура свойств..... 10

Правила построения дерева свойств..... 11

Задание..... 14

Порядок выполнения работы.....14

Содержание отчета.....14

Контрольные вопросы.....14

2. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕСОМОСТИ**..... 15

Краткие теоретические сведения..... 15

Методы определения коэффициентов весомости..... 15

Задание..... 17

Порядок выполнения работы..... 18

Содержание отчета.....18

Контрольные вопросы.....18

3. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТАЛОННОГО И БРАКОВОЧНОГО ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**.....19

Краткие теоретические сведения..... 19

Определение браковочных и эталонных значений для показателей свойств, не имеющих физических единиц измерений..... 20

Определение браковочных и эталонных значений документальным методом..... 20

Определение браковочных и эталонных значений показателей экспертным методом..... 21

Задание..... 22

Порядок выполнения работы..... 23

Содержание отчета.....23

Контрольные вопросы.....23

4. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА**.....24

Краткие теоретические сведения..... 24
Методы расчета комплексной оценки качества..... 24
Задание..... 24
Порядок выполнения работы.....26
Содержание отчета..... 26
Контрольные вопросы..... 26

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ РАБОТЫ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ..... 27

Задание..... 27
Порядок выполнения работы..... 29
Содержание отчета.....29
Контрольные вопросы..... 29

6. АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ..... 30

Краткие теоретические сведения..... 30
Диаграмма Парето..... 30
Задание..... 31
Порядок выполнения работы..... 34
Содержание отчета..... 34
Контрольные вопросы..... 34

7. ПОСТРОЕНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ДИАГРАММ.....35

Краткие теоретические сведения..... 35
Задание и порядок выполнения работы..... 35
Содержание отчета..... 37
Контрольные вопросы..... 37

8. ПОСТРОЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ..... 38

Краткие теоретические сведения..... 38
Задание и порядок выполнения работы..... 41
Содержание отчета..... 44
Контрольные вопросы..... 45

9. РАЗРАБОТКА ПЛАНОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ..... 46

Краткие теоретические сведения..... 46

Управление технологическим процессом при контроле по количественному признаку....46
Задание и порядок выполнения работы.... 48
Управление технологическим процессом при контроле по альтернативному признаку....49
Задание и порядок выполнения работы.... 51
Содержание отчета....53
Контрольные вопросы....53

10. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ....54

Краткие теоретические сведения....54
Общие характеристики технологического процесса....54
Задание и порядок выполнения работы.... 55
Содержание отчета....56
Контрольные вопросы....56

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.... 57

ПРИЛОЖЕНИЕ А.... 58

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.... 59

ПРИЛОЖЕНИЕ В.... 60

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.... 61

ВВЕДЕНИЕ

Цель практических занятий по дисциплине – закрепление теоретических знаний и приобретение навыков в области измерения качества.

В соответствии с поставленными целями изучения дисциплины «Квалиметрия» определены задачи проведения практических занятий:

приобретение навыков решения задач по выбору систем показателей качества, оценивания качества;

приобретение навыков применения статистических методов контроля и управления качеством процессов;

отработка методики формирования экспертной группы, организации экспертного опроса и получения экспертной оценки;

решение задач по определению качества и управлению технологическими процессами.

Методические указания содержат краткий теоретический материал по темам практических занятий, условия задач и указания по их решению.

Общий объем практических занятий 0,94 з. е. (34 часа) тематика занятий представлена в табл. В.1.

Таблица В.1

№ п/п	Темы занятий	Трудоемкость
1	Построение дерева свойств	0,110 з. е. (4 часа)
2	Определение коэффициентов весомости показателей качества	0,166 з. е. (6 часов)
3	Определение эталонного и браковочного значений показателей качества	0,056 з. е. (2 часа)
4	Расчет комплексной оценки качества методами средневзвешенных	0,110 з. е. (4 часа)
5	Расчет коэффициента конкордации	0,056 з. е. (2 часа)
6	Построение диаграмм Парето	0,056 з. е. (2 часа)
7	Построение причинно-следственных диаграмм	0,056 з. е. (2 часа)
8	Построение контрольных карт	0,110 з. е. (4 часа)
9	Разработка планов статистического приемочного контроля	0,110 з. е. (4 часа)
10	Расчет точности и стабильности технологического процесса	0,110 з. е. (4 часа)

Оценить качество и принять управленческое решение означает провести исследования.

Изучением таких исследований и занимается квалиметрия. Практические занятия позволяют студентам:

закрепить знания теоретических основ и методов количественной оценки качества и технического уровня продукции;

освоить частные методики определения единичных и комплексных показателей качества;

научиться расчетам показателей качества и относительного уровня качества.

Данная подготовка позволяет студентам перейти от сущности и определения качества к управлению им. Для того, чтобы научиться управлять качеством, необходимо уметь его измерять.

В результате выполнения практических занятий по дисциплине студент должен обладать следующими компетенциями:

общенаучными:

быть готовым к абстрагированию и критическому мышлению при разработке методик оценивания качества (ОНК-1);

генерировать новые идеи в области изучения сущности и структуры качества (ОНК-2);

решать сложные вопросы при выполнении задач определения количественной оценки качества (ОНК-4);

применять математический аппарат, необходимый для осуществления профессиональной деятельности (ОНК-8);

инструментальными:

быть готовым к организации и планированию своей деятельности при осуществлении контроля качества (ИК-2);

анализировать, оценивать и улучшать результаты профессиональной деятельности (ИК-3);

строить модели систем задач, анализировать и диагностировать причины появления дефектов (ИК-5);

руководить малым коллективом при проведении экспертной квалиметрической оценки качества (ИК-7);

социально-личностными и общекультурными:

разбираться и решать социальные проблемы, связанные с необходимостью работать в творческом коллективе при оценивании качества и изучении проблем качества (СЛК-5).

организационно-управленческими и экономическими:

принимать решения с учетом минимизации риска при выборе наиболее оптимальных проектов, лучших изделий и вариантов (ОЭК-1);

консультировать работников по вопросам изучения сущности понятия

«качество» (ОЭК-2);

профессиональными:

анализировать состояние и динамику объектов с точки зрения их качества (ПК-1);

осуществлять мониторинг и владеть методами оценки прогресса в области улучшения качества проведения квалиметрического оценивания (ПК-2);

идентифицировать основные вопросы и участвовать в разработке рабочих методик оценивания качества (ПК-3).

Практические занятия выполняются в соответствии с графиком учебного процесса и самостоятельной работы (прил. Г). Предусмотрена также самостоятельная подготовка к практическим занятиям и защита отчета по практическим занятиям.

Трудоемкость самостоятельной работы по подготовке к выполнению и защите практических занятий составляет 0,24 з. е. (8 часов).

Отчет по практическим занятиям должен включать:

исходные данные;

краткую характеристику применяемых методов и методик;

основные расчетные формулы, полученные результаты (по возможности, сведенные в таблицу);

выводы по работе.

При оформлении отчета по практическому занятию необходимо руководствоваться требованиями стандарта СТО 4.2-07–2008 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности [12].

В данных методических указаниях даны краткие теоретические сведения по темам занятий. При подготовке к занятию, в случае если окажется, что данных теоретических сведений студенту не достаточно, он имеет возможность изучить вопрос самостоятельно, воспользовавшись литературой из библиографического списка данных методических указаний.

При защите оформленного в соответствии с вышеперечисленными требованиями отчета, студенту необходимо устно ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце каждой темы. Защита практического задания предполагается в конце текущего занятия или в начале следующего.

Содержание практических занятий

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в табл. В.2.

Таблица В.2

№ п/п	Темы занятий, трудоемкость
1	Построение дерева свойств – 4 часа, самостоятельная работа – 1 час
2	Определение коэффициентов весомости показателей качества – 6 часов, самостоятельная работа – 1,5 часа
3	Определение эталонного и браковочного значений показателей качества – 2 часа, самостоятельная работа – 0,5 часа
4	Расчет комплексной оценки качества методами средневзвешенных – 4 часа, самостоятельная работа – 1 час
5	Расчет коэффициента конкордации – 2 часа, самостоятельная работа – 0,5 часа
6	Построение диаграмм Парето – 2 часа, самостоятельная работа – 0,5 часа
7	Построение причинно-следственных диаграмм – 2 часа, самостоятельная работа – 0,5 часа
8	Построение контрольных карт – 4 часа, самостоятельная работа – 1 час
9	Разработка планов статистического приемочного контроля – 4 часа, самостоятельная работа – 1 час
10	Расчет точности и стабильности технологического процесса – 4 часа, самостоятельная работа – 0,5 часа

1. ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА СВОЙСТВ

Краткие теоретические сведения

Иерархическая структура свойств

С точки зрения оценивания качество можно представить в виде иерархической структуры (дерево свойств), на самом низком (нулевом) уровне которого находится качество как наиболее обобщенное комплексное свойство продукции, а на самом высоком уровне – простые свойства (рис. 1.1).

Строя иерархическую структуру свойств, желательно подняться до такого высокого уровня рассмотрения, на котором находятся не разлагаемые на какие-либо другие, наименее общие, так называемые простые свойства.

Правила построения деревьев свойств изложены Г. Г. Азгальдовым:

свойства *m*-го уровня

свойства 2-го уровня

свойства 1-го уровня

свойство 0-го уровня

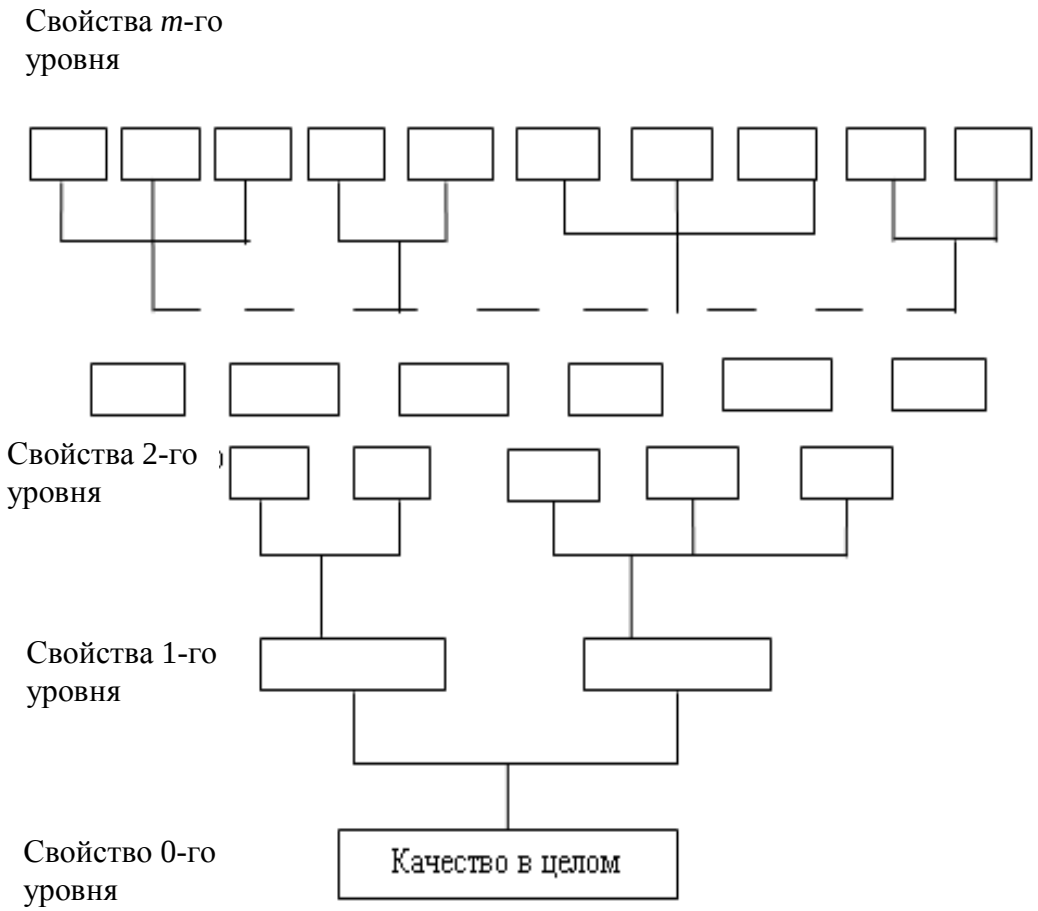


Рис. 1.1. Иерархическое дерево свойств качества

Известно, что каждый предмет и его качество можно описать с помощью большого числа свойств. Комплексный же показатель качества является результирующей величиной этих свойств.

В квалиметрии следует учитывать две противоположные тенденции: с одной стороны – стремление описать качество максимально возможным числом свойств, с другой – количество учитываемых свойств стараются уменьшить, чтобы сократить объемы расчетов. Следовательно, необходимо найти оптимальное число свойств, придерживаясь следующих положений:

свойства качества рассматриваются как классификационная система согласно иерархической многоуровневой структуре свойств (рис. 1.1);

основу классификации составляет признак, определяемый целью, с которой проводится оценка качества;

количество свойств качества должно удовлетворять требованиям необходимости и достаточности.

Правила построения дерева свойств

Правила, обязательные при любой ситуации оценки, называются общими правилами. Те правила, которых нужно придерживаться только в зависимости от ситуации оценки, будут называться частными.

Общие правила построения дерева свойств

1. Деление по равному основанию.

Для любой группы свойств должен быть единый для всех свойств группы признак деления.

2. Исключительность.

Свойства, входящие в группу, должны исключать необходимость их одновременного учета в виду того, что между показателями этих свойств есть функциональная зависимость.

3. Корректируемость.

Сущность этого правила заключается в том, что структура дерева должна позволять проводить корректировку (добавлять в дерево новые свойства или, наоборот, исключать некоторые свойства) в связи с изменением ситуации оценки.

4. Учет взаимосвязей в системе «человек – среда – объект».

В дереве свойств должны обязательно присутствовать (разумеется, с учетом ситуации оценки) показатели: экологичность, жизнеобеспеченность, безызъянность.

5. Жесткость структуры начальных уровней дерева.

В дереве свойств жесткая структура отдельных поддеревьев должна распространяться на максимально возможное число ярусов.

6. Потребительская направленность формулировок свойств.

Для каждого сложного свойства существует несколько различных признаков, с помощью которых оно может быть разделено на группу эквисатисных свойств. Из них надо выбрать те признаки, которые имеют потребительскую направленность.

7. Функциональная направленность формулировок свойств.

Желательно применять те признаки деления, которые отражают не конструктивную структуру оцениваемого объекта, а характер выполняемых им функций.

8. Правильный учет субъекта оценки.

Необходимо принимать во внимание тот уровень социальной иерархии, на котором находится субъект оценки. Наибольшее число свойств в дереве для одного и того же оцениваемого объекта будет тогда, когда субъект будет общество в целом, а наименьшее – когда субъект оценки небольшая группа потребителей или же только один человек.

9. Необходимость и достаточность числа свойств в группе.

В группу включаются только те свойства, которые необходимы для обеспечения эквисатисности со смежным свойством для определения этого сложного свойства.

10. Однозначность толкования формулировок свойств.

В дереве не должно быть нечетких, двусмысленных, неоднозначно трактуемых формулировок свойств.

11. Эталонное число свойств $n^{эт}$.

При сравнении двух объектов дерево свойств, предназначенное для оценки качества обоих объектов, должно состоять из эталонного числа свойств, т. е. включать в себя и все общие для обоих объектов свойства и те, по которым эти объекты отличаются друг от друга.

12. Полнота учета особенностей потребления объекта.

Необходимо так строить дерево, чтобы в нем нашли отражение все особенности процесса потребления объекта, выявленные на стадии определения ситуации оценки.

13. Недопустимость зависимых свойств.

В любой группе должны быть отставлены только независимые свойства.

14. Одновременность существования свойств.

Эквисатисные свойства, составляющие группу свойств, должны быть такими, чтобы оцениваемый объект в каждый момент времени мог одновременно обладать этими свойствами.

15. Максимальная высота дерева.

Дерево должно «ветвиться» до тех пор, пока во всех группах свойств, находящихся на последнем ярусе дерева, не останутся только квазипростые, которые уже не нужно разделять, или простые.

16. Исключение свойств надежности.

Свойства надежности любого объекта очень сильно влияют на качество объекта, но включать их в дерево свойств не нужно, потому что при точном или приближенном методах оценки качества все свойства надежности учитываются с помощью, так называемой функции эффекта, при упрощенном же методе – надежность учитывается с помощью коэффициента сохранения эффективности $K_{эф}$.

17. Предпочтительность правостороннего дерева.

Правостороннее дерево является самым удобным в практической работе, в большинстве случаев целесообразно применять именно его.

18. Предпочтительность табличной формы дерева.

Преимущество дерева в табличной форме заключается в экономии места, необходимого для изображения дерева.

19. Предпочтительность признака деления меньшей размерности.

Из двух в одинаковой степени пригодных для пользования признаков деления сначала нужно применять признак, содержащий меньшее число градаций.

Частные правила построения деревьев свойств

1. Учет затрат и результатов.

Сравнительно редко, в зависимости от ситуации оценки, необходимо определять в количественной форме не интегральное качество, а качество объекта. В этом случае из дерева должно быть исключено квазипростое свойство – экономичность, т. е. затраты на производство и потребление рассматриваться не будут.

2. Ясность признака деления.

Если по ситуации оценки установлено, что коэффициенты весомости для свойств отдельных групп (или чаще всего дерево в целом) будут определяться экспертным методом, целесообразно чтобы в каждой группе свойств признак деления был четко выражен и абсолютно ясен уже из самих формулировок свойств.

3. Случайный характер расположения свойств.

Целесообразно применять случайный порядок расположения свойств в группе. Это необходимо довести до сведения экспертов.

4. Минимум свойств в группе.

В любой группе не должно быть более семи свойств – в противном случае точность экспертной оценки резко уменьшается.

5. Возможность оценки других объектов с помощью поддеревьев.

В случаях, когда оценку качества объекта можно использовать для аттестации качества не только этого объекта, но и для других каких-то целей, например как составную часть другого объекта, необходимо эту часть выделить под дерево свойств.

6. Исключение одинаково выраженных свойств.

Из деревьев свойств исключаются все те свойства, которые в одинаковой степени выражены в сравниваемых вариантах.

7. Неполное дерево при упрощенной методике его построения.

Когда факторы времени и трудоемкость лимитируют и, кроме того, допустимо некоторое снижение точности полученных результатов, можно использовать упрощенную методику построения дерева свойств. При этом снижаются затраты труда как на построение дерева, так и на проведение последующих операций, предусмотренных алгоритмом.

Задание

Используя мнение экспертов и в соответствии с правилами построения деревьев свойств, построить дерево свойств объекта.

Объект выбирается студентом самостоятельно.

В качестве экспертов выступает группа студентов в количестве 6–8 человек.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать объект.
2. Сформировать экспертную группу, назначить ведущего эксперта.
3. Рассмотреть объект и, используя любой метод («Мозговой атаки», простого обсуждения и т. д.), определить набор показателей на каждом уровне дерева свойств.
4. Используя знания правил построения дерева свойств, определиться с формой дерева.
5. Учитывая мнения экспертов, расположить на каждом ярусе этого дерева соответствующие свойства.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) название работы;
2) цель;
3) название применяемых методов;
4) построенное дерево;
5) вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. Сущность понятия «дерево свойств».
2. Что такое простое свойство?
3. Какие свойства называют квазипростыми?
4. Какие правила построения свойств относятся к общим, а какие к частным?

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 25–30; 3, с. 16–23; 4; 5; 9, с. 155–162; 11, с. 110–127].

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЕСОМОСТИ

Краткие теоретические сведения

Наряду с абсолютным P_j и относительным K_j значениями, каждое простое или сложное свойство характеризуется также весомостью (значимостью) среди всех остальных свойств, а показатель качества – коэффициентом весомости, который является количественной характеристикой значимости данного показателя качества продукции среди других показателей.

В различных методиках сумма весомостей свойств одного уровня может иметь разное значение: 1, 10, 100, 18 и др., но во всех методиках выполняется условие

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = \text{const}, \qquad (2.1)$$

где q_i – коэффициент весомости.

Методы определения коэффициентов весомости

Существуют два метода определения значений групповых коэффициентов весомости q_i: аналитический и экспертный.

Использование аналитического метода определения значений коэффициентов весомости, несмотря на легкость производимых в его рамках вычислений, связано с преодолением трудностей, которые заключаются в том, что отсутствует достаточно подробный алгоритм, с помощью которого для любой группы свойств можно было бы однозначно выявить тот показатель свойств, который пригоден для использования в качестве ненормированного группового коэффициента весомости. И поэтому, несмотря на то, что аналитический метод наиболее предпочтителен, на практике чаще всего применяют экспертный метод определения коэффициентов весомости.

Экспертный метод основан на усреднении оценок весомостей, данных группой экспертов.

Процедуру получения экспертных оценок весомостей можно разбить на четыре этапа:

организация опроса;

проведение опроса;

обработка результатов опроса, получение оценок весомостей;

анализ результатов.

Условия для работы экспертной группы должны быть созданы технической группой. Должно быть подготовлено помещение, изображение дерева свойств, канцелярские принадлежности и др.

Технический работник, анализируя дерево свойств, определяет количество тех свойств, групповые коэффициенты весомости которых должны быть определены экспертным путем, и готовит бланки индивидуальной анкеты.

В соответствии с расположением экспертов за столами каждый из экспертов получает номер 1, 2, 3 … j. Номер определяет очередность, в которой эксперты дают свои ответы.

Истинным значением определяемой экспертами величины является средняя оценка экспертной группы. Чаще всего выносимые экспертами оценки представляют собой или ранжированную последовательность или совокупность числовых значений параметров. Члены экспертной группы определяют ранг расположения показателей качества рассматриваемой продукции. Причем показателю качества, который на взгляд эксперта имеет наибольшую важность при определении количественной оценки качества, присваивают самый высокий ранг, численно равный числу показателей свойств в группе.

Значения рангов, определяемых каждым экспертом, для всех показателей качества технический работник заносит в анкету № 1 в раздел «1-й тур». Ведущий анализирует числа, записанные в анкету, с точки зрения максимальной величины расхождения между отдельными назначенными экспертами оценками. Величину расхождения мнений экспертов можно определить, используя коэффициент конкордации W_N для N экспертов, по формуле

$$W_N \frac{12S'}{N^2(n^3-n)}, \tag{2.2}$$

где S' – сумма квадратов отклонений; n – число показателей свойств в группе.

Сумма квадратов отклонений рассчитывается по формуле

$$S' = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2, \tag{2.3}$$

где Δ_i – отклонение от средней суммы рангов.

Отклонение от средней суммы рангов можно подсчитать по формуле

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^{N} a_{ij} - T_{\text{р}}, \tag{2.4}$$

где a_{ij} – ранг i-го объекта у j-го эксперта; $T_{\text{р}}$ – средняя сумма рангов.

Средняя сумма рангов определяется выражением

$$T_{\text{р}} = N\left(\frac{n+1}{2}\right). \tag{2.5}$$

Если крайние значения между отдельными, назначенными экспертами

оценками отличаются друг от друга не более чем на 25 %, то опрос экспертов можно ограничить одним туром.

После получения достаточно согласованного мнения экспертов по ранжированию весомостей свойств показателей качества можно приступить к обработке результатов экспертного опроса (анкета № 1).

Для каждого помещенного в сводной анкете № 1 свойства вычисляют среднее арифметическое (по всем экспертам) значение ненормированного коэффициента весомости по результатам последнего тура:

$$\overline{q}_i' = \sum_{\gamma=1}^{N} \overline{q}_{ij}'/N, \qquad (2.6)$$

где $\overline{q}_{ij}'$ – ненормированный коэффициент весомости для i-го свойства у j-го эксперта; N – число экспертов.

Для каждой группы свойств определяется сумма A всех средних значений ненормированных коэффициентов весомости (с учетом всех свойств групп). Полученные числа заносят в сводную анкету (анкета № 1).

Затем произведем нормирование значений $\overline{q}_i'$, т. е. определим значения весомости для каждого свойства в группе по формуле

$$q_i = \frac{\overline{q}_i'}{A}. \qquad (2.7)$$

Правильность приведенных расчетов проверим по условию

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = 1, \qquad (2.8)$$

где n – число всех показателей.

Задание

Используя мнения экспертов, определить коэффициенты весомости показателей качества объекта, дерево свойств которого было построено при выполнении первого задания.

Порядок выполнения задания:

1. Провести опрос экспертов, данные опроса занести в анкету № 1 (прил. А).

2. По результатам опроса рассчитать коэффициент конкордации и определить необходимость второго тура опроса.

3. По результатам окончательного тура опроса рассчитать коэффициенты весомости показателей качества объекта.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать объект.
2. Сформировать экспертную группу, назначить ведущего эксперта.
3. Рассмотреть объект и, используя любой метод («Мозговой атаки», простого обсуждения и т. д.), определить набор показателей на каждом уровне дерева свойств.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:
1) название работы;
2) цель;
3) название применяемых методов;
4) заполненную анкету № 1 с рассчитанными коэффициентами весомости;
5) выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Обязательное для всех методик условие при определении коэффициентов весомостей.
2. Сущность аналитического метода определения коэффициентов весомости.
3. Сущность экспертного метода определения коэффициентов весомости.
4. Что такое коэффициент конкордации, каким образом он определяется?
5. Условие проведения одного тура экспертного опроса при определении коэффициентов весомости.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [4; 5; 9, с. 149–151, 144–151; 11, с. 90–108].

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭТАЛОННОГО И БРАКОВОЧНОГО ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Краткие теоретические сведения

Возможны три вида соотношений между значениями (q, $q^{эт}$, $q^{доп}$, $q^{бр}$ и P, $P^{эт}$, $P^{доп}$, $P^{бр}$):

а) значение абсолютного показателя свойства P ограничено браковочным значением $P^{бр}$ только снизу, поэтому такое браковочное значение обозначим через $P^{бр\ min}$.

Например, в соответствии со СНиПом сквозные проезды в зданиях следует принимать шириной не менее 3,5 м. Значит, $P^{доп}$ = 3,5 м и $P^{бр\ min}$ = 3,4 м, $P^{бр\ min}$ = 3,4 м < 3,5 м = $P^{доп} \le P \le P^{эт}$;

б) значение абсолютного показателя свойства P ограничено браковочным значением только сверху ($P^{бр\ max}$):

$$P^{бр\ max} > P \ge P^{эт},$$

$$P^{бр\ max} > P^{доп} \ge P > P^{эт};$$

в) значение абсолютного показателя свойства ограничено браковочным показателем как снизу, так и сверху:

$$P^{бр\ min} < (P^{эт} \le P \le P^{эт}) < P^{бр\ max}.$$

Например, очевидно, что температура в помещении не должна быть ни слишком высокой, ни слишком низкой. Предположим, что для жилой комнаты P = 20 °С, $P^{бр\ max}$ = 26 °С, $P^{бр\ min}$ = 17 °С. Тогда

$$P^{бр\ min} = 17\ °C < (20 \le P \le 20) \le 26 = P^{бр\ max}.$$

Для обеспечения функциональной и временной сопоставимости различных объектов одного и того же типа необходимо, чтобы набор браковочных и эталонных значений показателей был единым для дерева свойств объектов этого типа.

Определять браковочные и эталонные значения показателей целесообразно только для тех свойств, для которых определяются коэффициенты весомости (если коэффициенты весомости для каких-то свойств не определялись, значит, такие свойства не учитываются при оценке качества проекта).

Определение браковочных и эталонных значений показателей можно разделить на три этапа:

1-й этап. Члены организационной группы (ОГ) определяют $P^{бр}$ и $P^{эт}$ для тех свойств, показатели которых не имеют физических единиц измерения.

2-й этап. Члены ОГ документальным методом определяют $P^{бр}$ и $P^{эт}$ тех из оставшихся свойств, для которых этот метод применим, т. е. для которых существуют документальные данные, позволяющие определить значение $P^{бр}$ и $P^{эт}$.

3-й этап. Экспертным методом определяются браковочные и эталонные значения показателей всех оставшихся свойств.

Определение браковочных и эталонных значений для показателей свойств, не имеющих физических единиц измерений

Члены ОГ выявляют все те свойства, которые выходят на последний ярус дерева и применительно к которым отсутствуют какие-либо неэкспертные методы определения количественных значений их показателей (ни нормативов, ни методов физических измерений). Например, эстетические свойства.

Для каждого свойства члены ОГ назначают $P^{бр} = 0$ % и $P^{эт} = 100$ %. Эти значения заносятся техническим работником в таблицу оценки объекта (или в таблицу сравнения вариантов).

Отметим, что для подавляющего большинства свойств имеется только одно браковочное значение показателя $P_i^{бр}$. Крайне редко два значения $P^{бр\ min} < P$ и $P^{бр\ max} > P$. Например, футбольное поле длиной $P^{доп\ min} = 90$ м и $P^{доп\ max} = 104$ м, значит можно принять $P^{бр\ min} = 89$ м, $P^{бр\ max} = 105$ м.

Определение браковочных и эталонных значений документальным методом

Сущность этого метода состоит в том, что члены ОГ выявляют $P^{бр}$ и $P^{эт}$ на основе анализа различного рода документов – книг, отчетов о НИР, обзоров, проектной документации и т. д. При этом нужно обеспечить их необходимое количество.

Определение $P^{бр}$:

1. Члены ОГ просматривают все простые и квазипростые свойства дерева и выявляют те из них, для значений абсолютного показателя которых P_i существуют нормы, выраженные в количественной форме. Эти нормативные значения могут быть приняты как допустимые $P^{доп}$.

Ближайшие к допустимым, но худшие по значениям принимаются членами ОГ в качестве браковочных $P^{бр}$. Эти значения заносятся в таблицу оценки объекта (проекта) или таблицу сравнения вариантов.

2. Браковочные значения показателей могут быть определены документальным методом и для свойств, которые в повседневной практике не выражаются в количественной форме (обеспеченность лифтом). Для таких свойств, каждому из видов дана квалификационная оценка, т. е. приведено значение показателя качества, выраженное в безразмерных единицах, по шкале 0-1. Возможно, что члены ОГ смогут найти и какие-то другие документальные материалы, в которых на основе квалиметрии проведена количественная оценка и каких-то других свойств.

Определение $P^{эт}$. Эталонные значения так же, как и браковочные, опре-

деляются документальным методом в двух основных направлениях поиска этих значений:

1. Члены ОГ просматривают различные доступные материалы, в которых могут содержаться документальные данные, позволяющие для некоторых свойств выявить наилучшие значения соответствующих показателей свойств (литературные источники, отчеты о НИР, обзоры, монографии, статьи и др.).

За эталонное значение $P^{эт}$ в этих случаях необходимо принимать документально подтвержденные лучшие значения показателей каждого свойства. Ошибочно принимать за эталонные значения показателей всех свойств лучшего проекта или образца, не все свойства лучшего образца могут быть отнесены к эталонным.

2. Если среди свойств, применительно к которым ищутся эталонные значения показателей, имеются квалиметризованные свойства, то эти значения могут быть определены на основе тех же материалов, по которым определялись допустимые, а затем и браковочные значения. Только в качестве эталонных берутся лучшие значения.

Если же для каких-то свойств ни одним из описанных выше способов определить $P^{бр}$ и $P^{эт}$ не возможно, то эти значения должны определяться экспертным методом.

Определение браковочных и эталонных значений показателей экспертным методом

Значения $P^{бр}$ и $P^{эт}$ определяются совместно в ходе одной и той же процедуры. Причем, строго говоря, экспертным методом определяются не браковочные значения, а только соответствующие им допустимые $P^{доп}$. Значения $P^{бр}$ назначаются техническим работником как ближайшие к допустимым, но худшего значения.

Экспертный метод должен использоваться только тогда, когда другие, неэкспертные, методы или вообще неприемлемы, или их применение нецелесообразно из-за слишком больших в конкретной ситуации оценки затрат труда и времени по сравнению с экспертным методом.

До начала экспертного опроса силами технической группы (ТГ) подготавливаются следующие документы:

индивидуальные анкеты для определения $P^{бр}$ и $P^{эт}$. Эти документы подготавливаются на всю численность экспертной группы (ЭГ) (одна запасная для случая, если кто-то из членов ОГ также примет участие в опросе в качестве эксперта);

сводная анкета для определения $P^{бр}$ и $P^{эт}$ (только в одном экземпляре).

При этом всем членам ЭГ выдается дерево свойств. Значения $P^{бр}$ и $P^{эт}$ определяются только для тех свойств, которые выходят на самый высокий ярус дерева.

Экспертный опрос проводится по каждому свойству в отдельности, но одновременно для величин $P^{доп}$ и $P^{эт}$ в той же ЭГ, которая определяла значения коэффициентов весомости. Обычно после определения коэффициента весомости устраивается перерыв, во время которого раздается вторая анкета.

Перед началом опроса ведущий разъясняет членам ЭГ, что индивидуально определенное ими значение $P^{доп}$ и $P^{эт}$ должно основываться на учете нижеследующего соображения. Эксперт назначает для каждого свойства такое предельно допустимое значение показателя $P^{доп}$, хуже которого, по мнению эксперта, оно ни при каких условиях, соответствующих ситуации оценки, допущено быть не может.

Кроме того, ведущий должен напомнить экспертам, что величина $P^{доп}$ для некоторых свойств может быть единственной, только большей или меньшей по сравнению со значением абсолютного показателя свойств P. Но для ряда свойств, обычно немногочисленных, на последнем ярусе дерева $P^{доп}$ может быть не одно, а два $P^{доп\ min}$ и $P^{доп\ max}$ по сравнению с абсолютным значением P.

Что касается $P^{эт}$, эксперт должен назначить такое эталонное значение, которое, с его точки зрения, могло быть самым лучшим в отечественной и мировой практике (иногда это только предположение эксперта, т. е. каким $P^{эт}$ могло бы быть).

Эксперты определяют $P^{доп}$ и $P^{эт}$ независимо друг от друга. Если расхождения между ответами экспертов превышают 25 %, ведущий устраивает краткое обсуждение и назначает после этого второй тур опроса.

Назначенные экспертами значения $P^{доп}$ и $P^{эт}$ заносятся не только в индивидуальную анкету, но и в сводную. Это делает технический работник, который вычисляет среднее по всем экспертам допустимое значение по формуле

$$P^{доп} = \frac{\sum_{к=1}^{r} P_к^{доп}}{r}, \qquad (3.1)$$

где r – число экспертов.

Затем технический работник определяет $P^{бр}$ как ближайшее к допустимому, но худшее значение показателя свойства.

Находится эталонное значение:

$$P^{эт} = \frac{\sum_{к=1}^{r} P_к^{эт}}{r}. \qquad (3.2)$$

Определенные $P^{бр}$ и $P^{эт}$ заносят в соответствующие графы таблицы оценки качества или таблицы сравнения вариантов.

Задание

Определить эталонные и браковочные значения показателей свойств объекта, используя экспертный метод, в том случае, если нельзя применить неэкспертный метод. В качестве исходных данных при выборе эталонных и браковочных значений показателей использовать стандартные значения показателей выбранного студентом объекта.

Порядок выполнения работы

1. Дать обоснования необходимости выбора соответствующего метода (экспертного или неэкспертного).

2. Из стандарта на продукцию (выбранный ранее объект) определить значение показателей свойств, находящихся на последнем уровне дерева свойств.

3. Провести опрос экспертов и, если это необходимо, обсуждение их мнений (ведущий выбран на первом занятии).

4. Занести в таблицу (форма произвольная) значения показателей свойств последнего уровня – стандартные и допустимые.

5. Дать обоснование выбранным допустимым значениям P_{max} и P_{min}.

6. Назначить браковочные значения $P^{бр}_{max}$ и $P^{бр}_{min}$.

7. Дать обоснование выбранным эталонным значениям и ввести их в таблицу.

8. Охарактеризовать выбранный эталон.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) название работы;

2) цель;

3) краткие обоснования по выбору показателей;

4) таблицу с выбранными показателями ($P_{i\ стандартное}$; $P_{i\ max}$; $P_{i\ min}$; $P^{бр}_{max}$; $P^{бр}_{min}$; $P^{эталон}_{min}$);

5) выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что принимается за эталон при определении относительного показателя качества?

2. Как определяются браковочные значения показателей качества?

3. Методы определения эталонных и браковочных показателей.

4. Виды эталонов качества.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 30–49; 4; 5; 10, с. 144–146, 149–156, 162–184; 11, с. 53–90].

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Краткие теоретические сведения

Методы расчета комплексной оценки качества

Комплексный показатель характеризует совокупность взаимосвязанных свойств, образующих качество продукции. Комплексные показатели качества могут быть связаны с единичными через функциональные зависимости, отражающие объективные законы природы, и могут быть выражены через комбинацию единичных показателей.

В качестве комплексных показателей применяются главные, интегральные и средневзвешенные.

Из средневзвешенных чаще всего в методиках определения комплексной оценки применяют: среднюю арифметическую, среднюю геометрическую и среднюю гармоническую взвешенные.

Средняя арифметическая взвешенная

$$K = \sum_{i=1}^{n} q_i k_i \,. \qquad (4.1)$$

где K – комплексный показатель качества; k_i – единичный относительный показатель качества; q_i – коэффициент весомости.

Средняя геометрическая взвешенная

$$K = \Pi K_i^{q_i} \,. \qquad (4.2)$$

Средняя гармоническая взвешенная

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{K_i}} \,. \qquad (4.3)$$

Задание

Задача 1. Качество трех машин определяется тремя свойствами:

производительностью $P'_{\text{п}}$;

долговечностью $P'_{\text{д}}$;

удобством управления $P'_{\text{у}}$.

Индекс i обозначает номер изделия (i = l, 2, 3), индекс «э» при дальнейшем изложении – эталонное изделие.

$P_{п}^{1}$ = 40 шт./ч; $P_{д}^{1}$ = 13000 ч; $P_{у}^{1}$ = 4 балла;

$P_{п}^{2}$ = 140 шт./ч; $P_{д}^{2}$ = 5000 ч; $P_{у}^{2}$ = 8 баллов;

$P_{п}^{3}$ = 110 шт./ч; $P_{д}^{3}$ = 16000 ч; $P_{у}^{3}$ = 9 баллов;

$P_{п}^{э}$ = 150 шт./ч; $P_{д}^{э}$ = 14000 ч; $P_{у}^{э}$ = 10 баллов.

Весомости показателей, определенные экспертным методом, равны соответственно: $q_{п}$ = 0,5; $q_{д}$ = 0,4; $q_{у}$ = 0,l.

Необходимо определить комплексную оценку качества трех машин методом средневзвешенных – арифметической, геометрической и гармонической:

а) без учета коэффициентов весомости;

б) с учетом коэффициентов весомости.

Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Задача 2. Показатели качества вольтметров приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Показатели качества вольтметров

Прибор	Единичные показатели качества				
	Класс точности (P_i, %)	Нижний предел измерений (P_2, мВ)	Диапазон температур (P_3, °С)	Масса (P_4, кг)	Устойчивость к механическим воздействиям (P_5)
B_1	1,5	1,0	–40–60	0,3	ВП, УП (0,75)
B_2	1,5	1,5	–30–50	0,15	ВУ, УУ (1,0)
B_3	1,0	2,0	–30–60	0,25	ВП, УП (0,75)
B_4	1,0	3,0	–30–60	0,22	ВУ, УУ (1,0)
Базовый показатель	1,0	1,0	–40–60	0,15	ВУ, УУ (1,0)
Весовые коэффициенты	0,3	0,15	0,2	0,1	0,25

Примечание: ВП – вибропрочный; УП – ударопрочный; ВУ – виброустойчивый; УУ – удароустойчивый.

Задание

Необходимо определить комплексные показатели качества четырех вольтметров по принципу среднего арифметического:

а) без учета весовых коэффициентов;

б) с учетом весовых коэффициентов.

Проанализировать результаты и сделать выводы.

Порядок выполнения работы

1. Определить комплексную оценку качества трех машин методом средневзвешенных – арифметической, геометрической и гармонической:

а) без учета коэффициентов весомости;

б) с учетом коэффициентов весомости.

2. Определить комплексные показатели качества четырех вольтметров по принципу среднего арифметического:

а) без учета весовых коэффициентов;

б) с учетом весовых коэффициентов.

3. Проанализировать результаты и сделать выводы.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) название работы;

2) цель;

3) исходные данные;

4) расчетные формулы и результаты расчета;

5) выводы.

Контрольные вопросы

1. Расчетные формулы определения среднеарифметической, среднегеометрической, среднегармонической комплексных оценок качества с учетом коэффициентов весомости отдельных свойств.

2. Преобразование расчетных формул по определению средневзвешенных комплексных оценок качества без учета коэффициентов весомости отдельных свойств.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 49–80, 144–151; 3, с. 23–38; 4; 5; 10, с. 143–144; 11, с. 15–23, 226–270].

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОГЛАСОВАННОСТИ РАБОТЫ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ

Теоретические сведения по данной теме приведены в разд. 2.

Согласованность работы группы экспертов определяется коэффициентом конкордации (2.2).

Задание

Определить степень согласованности мнения экспертов, чьи результаты ранжирования объектов приведены в табл. 5.1, табл. 5.2, табл. 5.3, табл. 5.4 и табл. 5.5.

Таблица 5.1

Данные мнений пяти экспертов

Номер объекта	Оценка эксперта				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1	4	6	4	4	3
2	3	3	2	3	4
3	2	2	1	2	2
4	6	5	6	5	6
5	1	1	3	1	1
6	5	4	5	6	5
7	7	7	7	7	7

Таблица 5.2

Данные мнений семи экспертов

Номер объекта	Оценка эксперта						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
1	9	8	8	7	9	9	9
2	7	7	5	6	7	7	8
3	4	6	7	5	6	4	7
4	2	1	1	1	1	1	1
5	5	9	9	9	8	8	7
6	8	4	6	3	5	3	6
7	1	2	2	2	2	2	2
8	3	3	3	4	3	5	3
9	6	5	4	8	4	6	5

Таблица 5.3

Данные мнений семи экспертов

Номер объекта	Оценка эксперта						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
1	5	5	7	5	7	7	7
2	6	6	5	6	5	5	6
3	3	3	2	3	1	2	4
4	4	2	3	2	3	4	1
5	7	1	4	7	4	6	5
6	1	4	1	1	2	1	2
7	2	7	6	4	6	3	3

Таблица 5.4

Данные мнений семи экспертов

Номер объекта	Оценка эксперта						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
1	5	5	7	5	7	7	7
2	6	6	5	6	5	5	6
3	3	3	2	3	3	2	4
4	4	3	3	2	2	4	1
5	7	7	4	7	5	6	5
6	1	1	1	1	1	1	2
7	2	3	6	4	5	3	3

Таблица 5.5

Данные мнений семи экспертов

Номер объекта	Оценка эксперта						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
1	7	8	8	7	8	6	7
2	8	7	7	8	6	8	8
3	6	6	5	6	7	7	6
4	5	5	6	5	4	4	3
5	3	4	3	4	5	5	5
6	3	2	2	2	2	1	3
7	3	3	4	3	3	3	2
8	1	1	1	1	1	2	2

Порядок выполнения работы

1. Решить три задачи по указанию преподавателя.
2. Подобрать соответствующую расчетную формулу.
3. Рассчитать коэффициент конкордации.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:
1) название работы;
2) цель;
3) исходные данные (таблицы);
4) расчетные формулы;
5) расчет коэффициентов;
6) выводы.

Контрольные вопросы

1. Расчетные формулы определения коэффициента конкордации.
2. Сущность понятия коэффициент конкордации.
3. Условие, при котором работа экспертов считается достаточно согласованной.
4. Значение коэффициента конкордации при условиях полной согласованности и полного разногласия среди группы экспертов.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [4; 5; 9, с. 149–151, 144–151; 11, с. 90–108].

6. АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ

Краткие теоретические сведения

Для анализа результатов контроля качества широкое распространение получили методы статистического контроля качества. Наиболее известными среди них стали «семь инструментов контроля качества», в состав входит и диаграмма Парето.

Диаграмма Парето

Диаграмма Парето, названная так по имени ее автора, итальянского ученого-экономиста Парето, позволяет наглядно представить величину потерь в зависимости от различных дефектов. С помощью диаграммы Парето выявляют также основные причины успехов и широко пропагандируют эффективные методы работы.

Диаграмма строится в виде столбчатого графика по величине потерь либо по их стоимости, начиная с самого большого по высоте столбика и далее в порядке уменьшения его высоты. Незначительные по величине потери объединяют в общую группу «Прочие» и этот столбик на графике располагают последним.

Предпочтительнее, если это возможно, определять не количество дефектов, а стоимость потерь от них в денежном выражении.

Построение диаграммы сопровождается построением ломаной кумулятивной кривой, на которой суммируются потери, и на последнем столбике, если все работы по подсчету потерь были выполнены верно, эта кривая должна выйти на отметку 100 %.

Если окажется, что столбик «Прочие» будет по величине выше любого из столбиков *A*, *B*, *C*, расположенных на трех первых позициях, необходимо из этой группы дефектов выделить наиболее крупный по количеству или стоимости дефект в отдельную группу. Тогда на графике дополнительно появится еще один столбик, а высота столбика «Прочие» при этом уменьшится.

При использовании диаграммы Парето для контроля важнейших факторов наиболее распространенным методом анализа является так называемый *ABC*-анализ.

Факторы (по эффективности их воздействия на объект в целом), оказавшиеся на позициях *A*, *B* и *C*, должны подвергаться анализу в первую очередь.

После выяснения причин и устранения дефектов вновь строится диаграмма Парето с целью проверки эффективности принятых в отношении дефектов *A*, *B* и *C* мер.

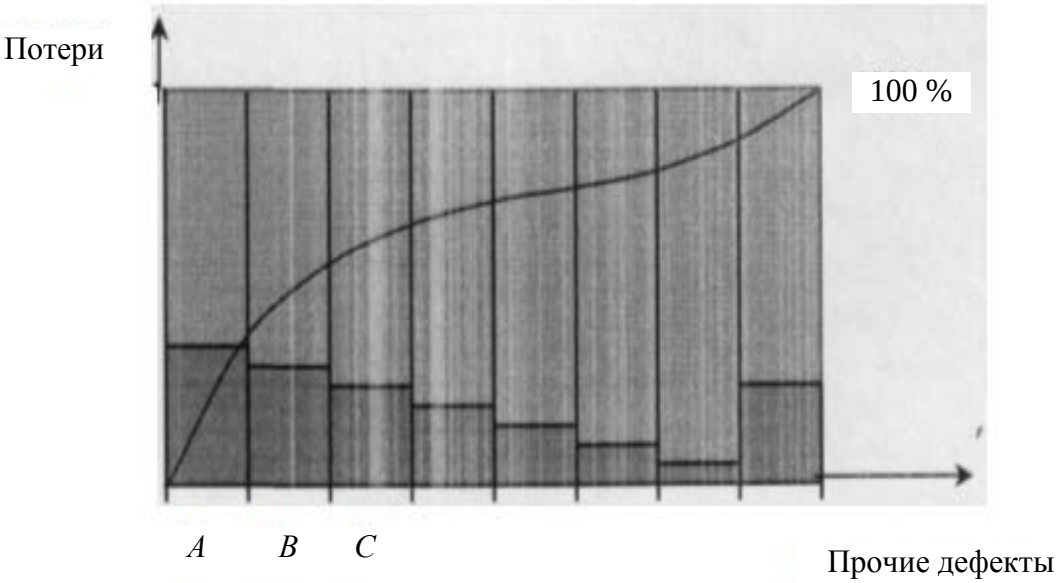


Рис. 6.1. Диаграмма Парето

В случае, если какой либо дефект по эффективности находится в конце диаграммы, но устранение его не требует больших затрат ни материальных, ни временных, то такой дефект должен быть устранен до начала работ по анализу и устранению причин возникновения дефектов *A*, *B* и *C*.

Для выяснения причин дефектов *A*, *B*, *C* целесообразно дополнительно использовать причинно-следственную диаграмму.

Задание

Выполнить все необходимые работы по расчетам (с построением дополнительных таблиц, если это необходимо), в соответствии с заданием и указаниями, приведенными ниже задача 1–3.

Задача 1. Служба качества предприятия собрала месячные данные по браку кровельных листов. Данные по браку приведены в табл. 6.1.

По данным табл. 6.1 построить диаграмму Парето, произвести анализ диаграммы и анализ каждой из первых трех операций (группа А).

Задача 2. При контроле производства дисковых пил были получены данные о величине потерь от брака по каждой операции. Данные о браке приведены в табл. 6.2. Используя данные таблицы, необходимо построить диаграмму Парето и проанализировать ее.

Таблица 6.1

Данные о браке в производстве кровельных листов

№ п/п	Вид брака и количество некачественных изделий	Количество дефектных изделий	Потери от брака в денежном выражении (тыс. руб.)	Потери от брака в процентном выражении (%)
1	Боковые трещины	140	5,4	
2	Шелушение краски	3400	3,7	
3	Коробление	900	62,0	
4	Отклонение от перпендикулярности	320	20,0	
5	Грязная поверхность	1320	4,5	
6	Винтообразность	1250	8,5	
7	Трещины по поверхности	820	10,0	
8	Боковой изгиб	420	30,0	
9	Прочие причины	600	10,2	
	Итого			

Таблица 6.2

Данные о браке в производстве дисковых пил

№ п/п	Наименование операции	Количество бракованных деталей (шт.)	Потери от брака (руб.)	Потери от брака (%)
1	Вырубка круга по ∅305			
2	Вырубка отверстия ∅38			
3	Расточка отверстия ∅40 Н7 в пакете	10	290	
4	Обточка в пакете по ∅300	12	350	
5	Вырубка стружечных канавок	60	1980	
6	Правка корпусов фрез от коробления	30	1200	
7	Пайка твердосплавных пластин	70	2400	
8	Шлифование по наружному диаметру «чисто»	5	410	

9	Шлифование по боковым сторонам зубьев «чисто»	2	168
10	Заточка по передней поверхности $\gamma = 15°$	3	258
11	Заточка по задней поверхности $\alpha = 15°$	10	900
12	Заточка по боковым сторонам $\varphi = 15°$	8	720
13	Маркировка	–	–
14	Упаковка и консервация	2	184
15	Прочие потери	–	605
	Итого		

Задача 3. Необходимо проанализировать данные табл. 6.3 и составить различные диаграммы Парето.

Таблица 6.3

Данные о браке

Рабочий	Станок	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
A	1	• • • • * * oooo ## Δ	• • • • • * ooo # –	• • • • • * ** ** OOOO ## Δ	• • • • * OOO ## –	• • • • • * OOOO ### –
	2	• • * O – –	• • • * * oo – Δ	• • • * ** ** oo # –	• • * o # –	• • * * o # –
B	3	• • * * o # –	• • • • * o – –	• • • * ** ** O # –	• • • * o # Δ	• • • • * oo # –
	4	• • * oo – Δ	• • • * o # –	• • • * ** * oo # –	• • • * – # –	• • * * oo # –

Порядок выполнения работы

1. Решить две задачи по указанию преподавателя.
2. Определить, какой фактор следует рассматривать.
3. Построить вспомогательные таблицы.
4. Построить диаграмму Парето, нанеся на нее кумулятивную кривую.
5. В случае построения диаграммы по причинам, а не по результатам, необходимо построить, как минимум, пять диаграмм.
6. Сделать вывод.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:
1) название работы;
2) цель;
3) исходные данные (таблица);
4) вспомогательные таблицы;
5) диаграммы Парето;
6) выводы по диаграммам.

Контрольные вопросы

1. Сущность диаграммы Парето.
2. Последовательность построения диаграммы Парето.
3. Что такое кумулятивная кривая?
4. Сущность *ABC*-анализа при построении диаграмм Парето.
5. Цель построения диаграмм Парето.
6. Виды диаграмм Парето.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 123–130; 3, с. 48–16; 4; 5].

7. ПОСТРОЕНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ ДИАГРАММ

Краткие теоретические сведения

В состав «семи инструментов контроля качества» входит причинно-следственная диаграмма, применяющаяся, как правило, при анализе дефектов, приводящих к наибольшим потерям.

Она позволяет выявить причины таких дефектов и сосредоточиться на устранении этих причин. При этом анализируются четыре основных причинных фактора: человек, машина (оборудование), материал и метод работ.

Причинно-следственная диаграмма Исикавы. При анализе причинных факторов, вызывающих появление дефектов, выявляются вторичные, а может быть, и третичные причины, приводящие к дефектам и подлежащие устранению. Поэтому для анализа дефектов построения диаграммы необходимо определить максимальное число причин, которые могут иметь отношение к допущенным дефектам.

Такую диаграмму в виде рыбьего скелета предложил японский ученый К. Исикава. Ее называют также «ветвистой схемой характерных факторов», или диаграммой «четыре М» (man, method, material, machine) (рис. 7.1).

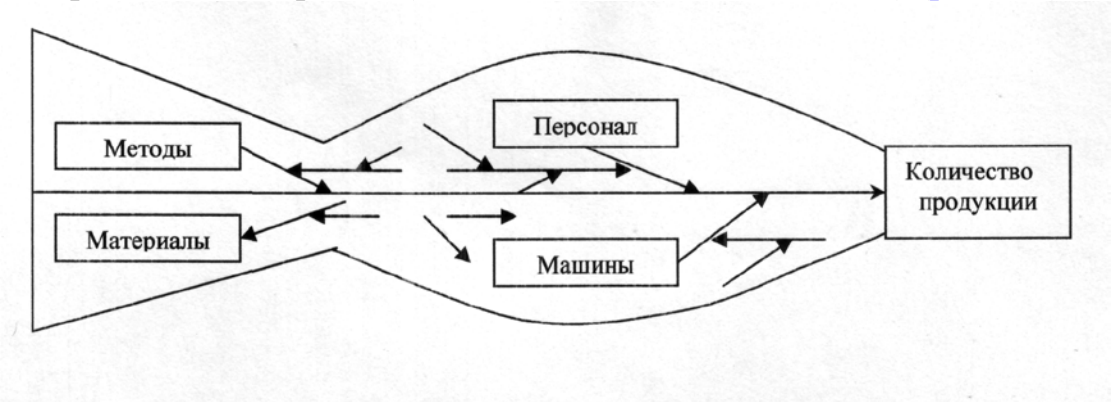


Рис. 7.1. Причинно-следственная диаграмма

Качество – это, по определению Исикавы, хребет рыбьего скелета, а причины, определяющие и влияющие на качество, которые, в свою очередь, являются следствием других причин, – это крупные кости, средние кости, мелкие кости.

Задание и порядок выполнения работы

Выполнить построение причинно-следственных диаграмм в соответствии с заданием и указаниями, приведенными в задачах 1–3.

Задача 1. По мнению специалистов, существенные проблемы с качеством выпускаемой продукции возникают на предприятии по причине «текучести» кадров. По отчетным данным, с предприятия за год было уволено 50 человек.

Данные об увольнении по кварталам, подразделениям предприятия и причины увольнения и представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Данные об увольнении

Причина увольнения	Подразделение	Квартал года			
		1-й	2-й	3-й	4-й
По собственному желанию	Цех 1	2	1	3	2
	Цех 2	4	2	5	2
	Администрация	1	1	4	2
По решению руководства	Цех 1	1	0	2	1
	Цех 2	1	2	2	2
	Администрация	0	1	0	1
По уходу за ребенком	Цех 1	0	1	1	0
	Цех 2	0	0	2	1
	Администрация	1	0	1	0

- Построить все возможные диаграммы Парето, предварительно составив вспомогательные таблицы;
- По полученным данным выявить основные проблемы;
- С помощью диаграммы Исикавы установить возможные причины возникновения основной проблемы;
- Определить виды и место сбора информации для установления проблемы.

Задача 2. Построить диаграмму причин (диаграмму Исикавы) и результатов для следующих показателей качества:

а) сдача студентом сессии в срок;

б) сдача студентом сессии без троек;

в) выполнение учебного плана семестра к сессии;

г) качество обучения в вузе.

Задача 3. Построить диаграммы Исикавы для следующих показателей:

а) качество технологических процессов;

б) качество конструкторской разработки;

в) качество материально-технического снабжения;

г) качество производства продукции;

д) качество продукции.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:
1) название работы;
2) цель;
3) исходные данные (таблица);
4) вспомогательные таблицы;
5) диаграммы Парето, Исикавы;
6) выводы по диаграммам.

Контрольные вопросы

1. Сущность и история появления причинно-следственных диаграмм.
2. Цель построения причинно-следственных диаграмм.
3. Правила построения причинно-следственных диаграмм.
4. Какие методы применяются при построении причинно-следственных диаграмм?

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 123–130; 3, с. 48–16; 4; 5].

8. ПОСТРОЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ

Краткие теоретические сведения

Контрольная карта – это разновидность графика, который отличается наличием контрольных границ, обозначающих допустимый диапазон разброса характеристик в обычных условиях течения процесса. Выход характеристик за пределы контрольных границ означает нарушение стабильности процесса и требует проведения анализа причин и принятия соответствующих мер.

Контрольная карта – это один из «семи инструментов контроля качества», позволяющий управлять качеством посредством статистических методов.

Контрольные карты были предложены Уолтером Шухартом в 1931 году в книге «Экономный контроль качества промышленной продукции».

Существует масса всевозможных карт, остановимся на двух главных типах:

1. Контрольные карты для количественных переменных (факторов), отражающих конкретные измерения характеристик процесса (температура, размер, вес и т. п.). Типы этих карт – ($\overline{X}$–*R*)-карты; *M*$\overline{X}$–*MR*-карты; (*X*–*MR*)-карты; ($\overline{X}$–*S*)-карты.

2. Контрольные карты для качественных переменных (признаков), отражающих общее измерение всего процесса (число рекламаций на заказ, число заказов в единицу времени, частота прогулов и т. п.).

Типы этих карт – *p*-карты; *np*-карты; *c*-карты; *u*-карты.

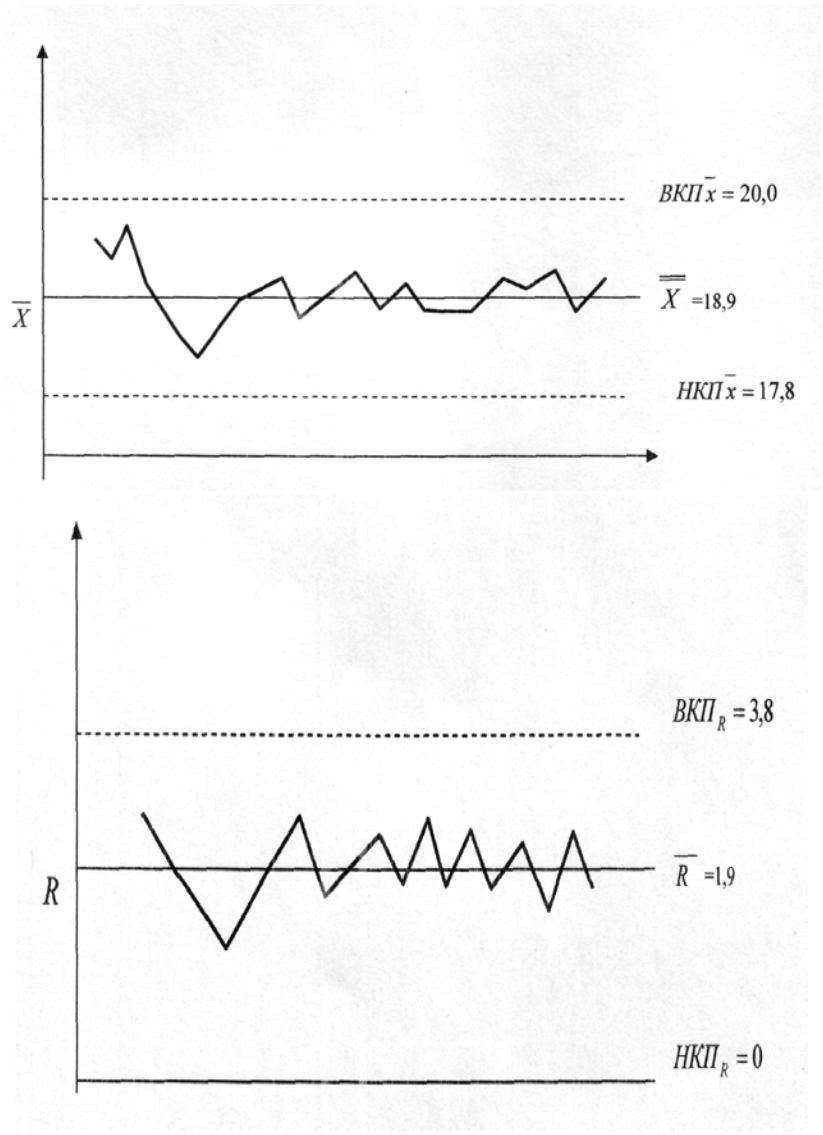


Рис. 8.1. Контрольная $\overline{X}$ –*R*-карта

Контрольные $\overline{X}$ –*R*-карты

Обозначения для $\overline{X}$ –*R*-карт:

n – объем выборки;

X – показания (данные);

$\overline{X}$ – среднее показание в выборке;

$\overline{\overline{X}}$ – среднее всех средних $\overline{X}$. Это положение центральной линии на $\overline{X}$-карте;

R – размах (разность между наибольшим и наименьшим значениями каждой выборки);

$\overline{R}$ – среднее всех *R*. Это положение центральной линии на *R*-карте;

ВКП – верхний контрольный предел;

НКП – нижний контрольный предел;

На рис. 8.1 показана типичная контрольная $\overline{X}$ –*R*-карта.

Этапы построения $\overline{X}$ –*R*-карт

1. Определить объем выборки *n,* равный 3, 4 или 5 или частоту отбора.

2. Собрать от 20 до 25 таких наборов данных во времени последовательных выборок (содержащих от 60 до 100 отдельных точек).

3. Вычислить среднее для каждой выборки, равное $\overline{X}$.

4. Вычислить размах для каждой выборки *R.*

5. Вычислить $\overline{\overline{X}}$ (среднее всех средних $\overline{X}$).

6. Вычислить $\overline{R}$ (среднее всех размахов).

7. Вычислить контрольные пределы.

X-карты: $\text{ВКП}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$; (8.1)

$\text{НКП}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$. (8.2)

R-карты: $\text{ВКП}_R = Д_4\overline{R}$; (8.3)

$\text{НКП}_R = Д_3\overline{R}$. (8.4)

Значения множителей определяют из табл. 8.1.

Таблица 8.1

Таблица множителей

n	A_2	$Д_3$	$Д_4$	d_2
2	1,88	0	3,27	1,13
3	1,02	0	2,57	1,69
4	0,73	0	2,28	2,06
5	0,58	0	2,11	2,33
6	0,48	0	2,00	2,53

8. Нанести данные на карту и интерпретировать ее с точки зрения наличия или отсутствия особых или неслучайных причин вариации.

Основные правила интерпретации контрольной карты

1. Особые точки – любые точки выше верхнего или нижнего пределов.

2. Серия – семь или больше последовательных точек над или под центральной линией.

3. 1 из 20 – это более, чем одна точка в двадцати последовательных точках, близких к контрольным пределам (во внутренней трети поля допуска).

4. Тренд (дрейф) – любое систематическое повышение или понижение пяти или более последовательных точек или сдвиги семи или более точек.

Неуправляемость

Если некоторый процесс «вышел из-под контроля» (стал неуправляемым), значит на картах либо средних, либо размахов, либо на обеих одновременно отражены особые причины вариации. Их надо найти и исключить для достижения управляемости процесса. Его неуправляемость определяется на контрольной карте либо по наличию точек за контрольными пределами, либо по обычным структурам вариабельности.

Задание и порядок выполнения работы

Необходимо построить контрольные $\overline{X}$ –R-карты с учетом рекомендаций по построению контрольных карт, изложенных выше, и в соответствии с условиями и указаниями задач 1 и 2.

Задача 1. Данные результатов измерения некоторого фактора представлены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Данные для контрольной карты $\overline{X}$ –R

Выборка	Измерения					Выборочное среднее $\overline{X}$	Выборочный размер R
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е		
1	12	12	13	15	12	12,8	3
2	15	17	16	17	18	16,6	3
3	13	18	14	14	15	14,8	5
4	10	12	11	10	11	10,8	2
5	13	16	14	15	14	14,4	3
6	15	12	13	15	11	13,2	4
7	15	16	15	16	15	15,4	1
8	15	17	16	14	12	14,8	5
9	22	17	15	17	14	17,0	8
10	16	15	17	15	18	16,2	3
11	16	18	16	16	16	16,4	2
12	15	16	17	17	14	15,8	3
13	17	15	16	15	16	15,8	2
14	16	15	18	18	16	16,6	3
15	17	19	17	15	17	17,0	4

Окончание табл. 8.2

Выборка	Измерения					Выборочное среднее $\overline{X}$	Выборочный размер R
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е		
16	19	17	15	15	17	16,6	4
17	16	19	16	15	14	16,0	5
18	16	15	17	16	18	16,4	3
19	17	13	17	15	11	15,2	4
20	19	18	17	15	16	17,0	4
21	14	17	16	14	13	14,8	4

По результатам, приведенным в табл. 8.2, построить контрольную карту $\overline{X}$ –R, для этого необходимо:

1. Вычислить среднее для каждой выборки $\overline{X}$.

2. Вычислить размах для каждой выборки R.

3. Вычислить $\overline{\overline{X}}$ – среднее всех средних $\overline{X}$. Это центральная линия $\overline{X}$ -карты.

4. Вычислить $\overline{R}$ – среднее всех размахов R. Это центральная линия R-карты.

5. Вычислить контрольные пределы $\overline{X}$ -карты и R-карты.

Для определения пределов необходимо воспользоваться данными, приведенными в табл. 8.1.

6. Нанести данные на карту (форма карты представлена на рис. 8.2) и интерпретировать ее с точки зрения наличия или отсутствия особых или неслучайных причин вариации.

Задача 2. Построить контрольную $\overline{X}$ –R-карту по результатам измерений, приведенных в табл. 8.3.

																									Карта № 1	
Название продукта							Выпускающий отдел																		Оператор:	
Фактор							Пределы допуска НКП= ; ВКП=																		Единицы измерения:	
Среднее	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
																					$ВКП_{\bar{X}} =$					
																					$\bar{X} =$					
																					$НКП_{\bar{X}} =$					
Размах																					$ВКП_{\bar{R}} =$					
																					$\bar{R} =$					
																					$НКП_{\bar{R}} = 0$					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Дата начала																										
Время																										
Измерение в выборках	1																									
	2																									
	3																									
	4																									
	5																									
Всего																										
Среднее $\bar{X}$																										
Размах R																										

Рис. 8.2. $\bar{X}$ и $\bar{R}$ контрольная карта для фактора

Таблица 8.3

Таблица данных для $\overline{X}$ –R-карты

Номер подгруппы	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\sum X$	$\overline{X}$	R
1	47	32	44	35	20	178	35,6	27
2	19	37	31	25	34	146	29,2	18
3	19	11	16	11	44	101	20,2	33
4	29	29	42	59	38	197	39,4	30
5	28	12	45	36	25	146	29,2	33
6	40	35	11	38	33	157	31,4	29
7	15	30	12	33	26	116	23,2	21
8	35	44	32	11	38	160	32,0	33
9	27	37	26	20	35	145	29,0	17
10	23	45	26	37	32	163	32,6	22
11	28	44	40	31	18	161	32,2	26
12	31	25	24	32	22	134	26,8	10
13	22	37	19	47	14	139	27,8	33
14	37	32	12	38	30	149	29,8	26
15	25	40	24	50	19	158	31,6	31
16	7	31	23	18	32	111	22,2	25
17	38	0	41	40	37	156	31,2	41
18	35	12	29	48	20	144	28,8	36
19	31	20	35	24	47	157	31,4	27
20	12	27	38	40	31	148	29,6	28
21	52	42	52	24	25	195	39,0	28
22	20	31	15	3	28	97	19,4	28
23	29	47	41	32	22	171	34,2	25
24	28	27	22	32	54	163	32,6	32
25	42	34	15	29	21	141	28,2	27
						Итого		

Среднее $\overline{\overline{X}} =$

$\overline{R} =$

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) название работы;

2) цель;

3) исходные данные;

4 построенные вспомогательные таблицы и контрольные $\overline{X}$ –R-карты;

6) выводы.

Контрольные вопросы

1. Виды и типы контрольных карт.
2. Сущность $\overline{X}$ –*R*-карты.
3. Этапы построения $\overline{X}$ –*R*-карты.
4. Основные правила интерпретации контрольной карты.
5. Какие условия определяют управляемость и неуправляемость технологического процесса?

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 123–130; 3, с. 48–16; 4; 5].

9. РАЗРАБОТКА ПЛАНОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Краткие теоретические сведения

Контроль продукции состоит из двух этапов: получение информации о фактическом состоянии продукции (ее количественных и качественных признаках) и сопоставление полученной информации с заранее установленными техническими требованиями, т. е. получение вторичной информации. При несоответствии фактических данных техническим требованиям осуществляется управляющее воздействие на объект контроля с целью устранения выявленного отклонения от технических требований.

Научной основой современного технического контроля стали математико-статические методы. Выявление разладки технологического процесса основано на результатах периодического контроля малых выборок, осуществляемого по количественному или альтернативному признаку.

Управление технологическим процессом при контроле по количественному признаку

При контроле по количественному признаку о разладке технологического процесса судят как по среднему значению контролируемого параметра, так и по рассеиванию значений контролируемого параметра относительно этого среднего значения. Смещение среднего значения (в любую сторону) относительно средины поля допуска и увеличение рассеивания приводят к увеличению доли дефектной продукции.

В качестве средних значений при статистическом регулировании используют либо среднее арифметическое значение $\overline{X}$, либо медиану $\widetilde{X}$.

В качестве характеристик рассеивания используют либо выборочное среднее квадратическое отклонение *p,* либо размах *R.* В результате предварительного исследования состояния технологического процесса решаются следующие задачи:

1) получают оценки параметров нормального распределения μ и σ;
2) определяют вероятную долю дефектной продукции *P*;
3) определяют коэффициент точности K_T.

Для предварительного исследования технологического процесса на контроль отбирают, как минимум, $N = 100$ единиц продукции. У отобранных единиц продукции контролируют заданный параметр *X*.

По результатам контроля каждой выборки вычисляют статистические характеристики: $\overline{X}$, $\widetilde{X}$, *p*, *R.* На основании этой информации вычисляют оценки параметров μ и σ.

Параметр μ получают как среднее арифметическое *k* значений $\overline{X}_i$:

$$\mu = \overline{X} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{R} \overline{X}_i, \qquad (9.1)$$

где $\overline{X}_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\overline{X}_{ij}\,(i=1, 2, \ldots, k;\ j=1, 2, \ldots, n)$.

Для оценки σ можно использовать три метода.

Первый метод более точен, но используется при наличии вычислительной техники:

$$\sigma = S = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{b=1}^{n}\left(X_b - \overline{\overline{X}}\right)^2},\ (b=1, 2, ..., n), \qquad (9.2)$$

где N – объем контроля; X_b – результаты контроля; $\overline{\overline{X}}$ – среднее арифметическое результатов контроля $\overline{X}$.

Второй метод точен, но более прост.

Оценку σ получают как среднее арифметическое k значений S_i, умноженное на поправочный коэффициент C_2 (табл. 9.1).

$$\sigma = \overline{S}C_2, \qquad (9.3)$$

где $\overline{S} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}S_i$.

Таблица 9.1

Значения поправочных коэффициентов

Коэффициент	Объем выборки							
	3	4	5	6	7	8	9	10
C_2	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97
d_2	1,69	2,06	2,33	2,83	2,70	2,85	2,97	3,08

Третий метод дает наименее точную оценку σ, но прост для вычислений. Оценку σ получают как среднее арифметическое k значений R_i, деленное на поправочный коэффициент d_2 (табл. 9.1).

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2}, \qquad (9.4)$$

где $\overline{R} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}R_i$.

Вероятную долю дефектной продукции P вычисляют по формуле

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{T_в - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{T_н - \mu}{\sigma}\right), \qquad (9.5)$$

где $T_в$, $T_н$ – верхняя и нижняя границы поля допуска; μ – среднее значение контролируемого параметра; σ – среднее квадратическое отклонение контро-

лируемого параметра Ф(X) – функция нормального распределения (справочное значение).

Из этой формулы следует, что доля дефектной продукции будет тем больше, чем больше будет σ и чем больше будет отклонение μ от μ_0, где μ_0 – среднее значение контролируемого параметра при налаженном состоянии технологического процесса.

Точность процесса оценивается коэффициентом точности $K_T = 6\sigma/T$. Чем меньше K_T, тем больше запас точности и тем больше гарантия бездефектного изготовления продукции в течение определенного времени.

Задание и порядок выполнения работы

Задача. В цехе принято решение перевести на статистическое регулирование технологический процесс изготовления болта на автоматах.

За показатель качества выбран параметр – диаметр болта и его допускаемые отклонения:

d = 26 мм, es = –0,005 мм, ei = –0,019 мм.

Данные наблюдения за выбранным параметром приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Данные измерения диаметра болта

Номер выборки	Результаты контроля (отклонения от размера d = 25,980 мм)					$\overline{X}_i$	R_i
1	10	3	5	14	10		
2	2	14	8	13	11		
3	12	12	3	8	10		
4	12	14	7	11	9		
5	10	11	9	15	7		
6	11	12	11	14	12		
7	15	11	14	8	3		
8	12	14	12	11	11		
9	11	7	11	13	9		
10	14	10	9	12	8		
12	10	14	3	8	7		
11	9	11	14	10	13		
13	5	8	3	3	4		
14	8	5	6	9	13		
15	8	4	9	5	8		
16	4	12	10	6	10		
17	10	6	13	10	5		
18	7	9	12	1	7		
19	4	7	6	7	12		
20	10	10	6	9	3		

Определить вероятную долю дефектной продукции P и коэффициент точности технологического процесса.

Управление технологическим процессом при контроле по альтернативному признаку

При контроле по альтернативному признаку о разладке технологического процесса судят либо по числу дефектных единиц продукции ПР, либо по числу дефектов *C*. Увеличение любого из этих значений сверх допустимых норм свидетельствует о разладке технологического процесса.

При контроле по альтернативному признаку используют следующие виды контрольных карт:

np-карту – контрольную карту числа дефектных единиц продукции;

c-карту – контрольную карту числа дефектов;

p-карту – контрольную карту доли дефектной продукции;

u-карту – контрольную карту числа.

Статистическое регулирование с помощью этих контрольных карт осуществляют в соответствии с планом контроля.

Планом контроля определяются объем выборки *n*, браковочное число *d*, которым устанавливается положение границ регулирования, и период отбора выборок τ.

План контроля принимают с учетом результатов предварительного исследования состояния технологического процесса. Состояние технологического процесса тем лучше, чем меньше средний уровень дефектности и чем реже происходит его разладка.

Средний уровень $\overline{P}$ оценивают по результатам сплошного или выборочного контроля. Объем выборочного контроля должен составлять не менее 0,1 от объема сплошного контроля.

Оценку среднего уровня дефектности определяют по формуле

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{к} Д_i}{\sum_{i=1}^{к} П_i} \cdot 100, \qquad (9.6)$$

где к – число проконтролированных партий; $Д_i$ – число дефектных единиц продукции или число дефектов, обнаруженных в *i*-й партии; $П_i$ – число проконтролированных единиц продукции в *i*-й партии.

По результатам предварительного исследования вычисляют уровень дефектности для каждой из проконтролированных партий и отмечают (точками) на контрольной карте. Соединяя точки отрезками прямых, получают график, который дает наглядную картину изменения уровня дефектности. Отметив на этой контрольной карте средний уровень дефектности $\overline{P}$ по колебаниям точек относительно значения $\overline{P}$, можно оценить стабильность исследуемого технологического процесса. Если эти колебания незначительны, то технологический процесс стабилен.

После предварительного исследования состояния технологического процесса выбирают план контроля. Для этого необходимо установить допускаемый уровень дефектности *AQL* и объем контролируемой партии *N*.

Значение *AQL* устанавливают исходя из требований, предъявляемых к качеству готовой продукции и не превышающих значение $\overline{P}$. Объем контро-

лируемой партии N определяют количеством единиц продукции, изготовленных за время τ (τ – периодичность отбора выборок).

При известных значениях N и AQL по табл. 9.4 выбирают объем выборки n и браковочное число d.

Таблица 9.3

Код объема выборки

Объем партии	Код объема выборки при уровне контроля		
	Первый уровень контроля	Второй уровень контроля	Третий уровень контроля
26–50	C	C	D
51–90	C	C	E
91–150	D	D	F
151–280	E	E	G
281–500	E	F	H
501–1200	F	G	J
1201–3200	G	H	K
3201–10000	G	J	L
10001–35000	H	K	M

Таблица 9.4

Данные для определения плана контроля

Код объема выборки	Объем выборки	Приемочный уровень дефектности AQL*													
		0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100
		Браковочное число d													
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	1	1	↓	2	3	4	6	8	11
D	8	↓	↓	↓	↓	1	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15
E	13	↓	↓	↓	1	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15	22
F	20	↓	↓	1	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15	22	↑
G	32	↓	1	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑
H	50	1	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑	↑
Y	80	↑	↓	2	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑	↑	↑
K	125	↓	2	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑	↑	↑	↑
L	200	2	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑	↑	↑	↑	↑
M	215	3	4	6	8	11	15	22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

Примечания. * Приемочный уровень дефектности, превышающий значение 10, используется только для статистического регулирования с помощью контрольной карты числа дефектов (*c*-карты), и в этом случае *AQL* измеряется числом дефектов на 100 единиц продукции. ↓ Используют первое число *d* под стрелкой и соответственно ему выбирают объем выборки. ↑Используют первое значение *d* над стрелкой и соответственно ему выбирают объем выборки *n*.

Таблица 9.5

Границы регулирования контрольных карт

Наименование контрольной карты	Принципы регулирования	Условия применения
Контрольная карта числа дефектных единиц продукции (*np*-карта)	ГР = *d*	Объем выборки постоянный
Контрольная карта числа дефектов (*c*-карта)	ГР = *d*	Объем выборки постоянный
Контрольная карта доли дефектной продукции (*p*-карта)	ГР = *d*/*n*	Объем выборки может изменяться
Контрольная карта числа дефектов на единицу продукции (*u*-карта)	ГР = *d*/*n*	Объем выборки может изменяться

Для определения объема выборки необходимо предварительно по табл. 9.3 определить код объема выборки в зависимости от объема партии и уровня контроля. В таблице предусмотрено три уровня контроля. Переход на второй и первый уровни позволяет уменьшить объем выборки. Это бывает необходимо, например, при слишком трудоемком контроле.

Границы регулирования (ГР) для контрольных карт определяются значением *d* по табл. 9.5.

Задание и порядок выполнения работы

Задача. В цехе листовой штамповки решено перевести ряд ответственных операций на статистическое регулирование для обеспечения стабильного качества продукции.

Основным контролируемым параметром является масса планки опоры после штамповки. В зависимости от результатов контроля планка признается либо годной, если ее масса соответствует установленным требованиям, либо дефектной. Объем партий колеблется от 450–500 штук планок.

Используя в качестве статистической характеристики долю дефектной продукции и соответственно для статистического регулирования *p*-карту выполнить следующее.

Получить оценку среднего уровня дефектности *P*. Чем меньше будет значение *P*, тем лучше технологический процесс и качество изготавливаемых деталей.

Для определения объема выборки воспользуемся табл. 9.4 для третьего уровня.

Из табл. 9.3 для объема выборки n = 50 и определенного выше кода найдем объем исходной информации N (20 выборок по 50 штук).

Результаты контроля 20 выборок отмечены в табл. 9.6. В каждой выборке подсчитано количество дефектов. Долю дефектных планок P подсчитать как $\frac{P}{n}100$.

Для более наглядного представления результатов контроля долю дефектных планок отметить на контрольной карте. Построенный график позволяет визуально оценить состояние технологического процесса за исследуемый период.

По 20 результатам выборочного контроля вычислить оценку среднего уровня дефектности по формуле (9.6).

Исключить результаты контроля выборок при $P \geq 8$ %, рассчитать среднее значение уровня дефектности $\overline{P}$ при нормальном состоянии технологического процесса.

Таблица 9.6

Данные контроля дефектов массы планок

Номер выборки	Объем контроля n	Количество дефектных планок	Уровень дефектности P, %	Уровень дефектности P, % 0 2 4 6 8 10
1	50	2		
2	50	2		
3	50	1		
4	50	2		
5	50	2		
6	50	1		
7	50	1		
8	50	1		
9	50	4		
10	50	5		
11	50	4		
12	50	2		
13	50	1		
14	50	1		
15	50	1		
16	50	0		
17	50	1		
18	50	1		
19	50	0		
20	50	2		
$\sum$	1000	34		

Если такой процент брака считается приемлемым, то его значение используют в качестве исходного при выборе приемочного уровня дефектности.

В табл. 9.3 найти ближайшее к полученному *P* при нормальном состоянии технологического процесса значение *AQL* и это значение принять за приемочный уровень дефектности *AQL*.

2. Выбрать план контроля.

Поскольку известен объем партий (задан), установлен приемочный уровень дефектности (*AQL*), то задача сводится к определению объема выборки *n* и браковочного числа *d*.

Объем выборки и браковочное число определить из табл. 9.4. Здесь возможен переход на другой уровень, а значит и изменение кода объема.

Выбрав план контроля (*N*; *AQL*; *n*; *d*), определить границу регулирования (табл. 9.5).

Результаты контроля нанести на график (табл. 9.6).

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1) название работы;

2) цель;

3) исходные данные;

4) решение задач по темам «Управление технологическим процессом при контроле по количественному признаку» и «Управление технологическим процессом при контроле по альтернативному признаку» с пояснениями.

Контрольные вопросы

1. Что называется планом контроля?
2. Оперативная характеристика плана.
3. Сущность статистического приемочного контроля по альтернативному признаку.
4. Сущность статистического приемочного контроля по количественному признаку.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [1, с. 123–130; 3, с. 48–16; 4; 5].

10. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Краткие теоретические сведения

Уровень качества продукции, сформулированный на этапе проектирования, должен обеспечиваться на стадии производства при наличии сырья и материалов соответствующего качества.

Качество продукции в процессе изготовления зависит от таких параметров качества технологии, как точность и стабильность.

Точность технологического процесса – это близость к номинальным значениям контролируемых показателей качества.

Стабильность технологического процесса – это способность сохранять значения показателей качества в заданных пределах с течением времени.

Общие характеристики технологического процесса

Размер обрабатываемой детали будет изменяться от минимального значения d_{min} до максимального d_{max} в силу неравномерности припуска и неравномерности твердости заготовки, неравномерности твердости инструмента, переменной жесткости, условий охлаждения и т. п.

Разница между d_{min} и d_{max} (или любого другого показателя Q_{min} и Q_{max}) будет составлять рассеивание или технологический допуск ω.

По соотношению рассеивания ω к конструкторскому допуску T, указанному на чертеже детали, судят о точности технологического процесса. Обычно используют понятие запаса точности, который характеризуют коэффициентом запаса точности K_P:

$$K_P = \frac{\omega}{T}. \qquad (10.1)$$

Если $K_P \geq 1$, то процесс вообще не имеет запаса и возникает брак; $K_P < 1$ – технологический процесс считается точным, но предпочтительно, чтобы $K_{P\ min} = 0{,}75$, в этом случае имеется 25 % запаса точности.

Точность настройки характеризуется коэффициентом, показывающим смещение в долях конструкторского допуска:

$$K_{Т.Н} = \frac{\left|\overline{Q} - Q_н\right|}{T}, \qquad (10.2)$$

где Q – центр технологического допуска; $Q_н$ – середина конструкторского допуска; T – конструкторский допуск.

Во избежание брака при изготовлении продукции необходимо обеспечивать $K_P \leq 0{,}75$ и $K_{Т.Н} \leq 1/2(1 - K_P)$.

Оценку стабильности технологического процесса по уровню наладки (значению $\overline{Q}$) за время эксплуатации t принято характеризовать коэффициентом смещения настройки $K_{см}$ и коэффициентом межнастроечной стабильности $K_{м.с}$.

$$K_{\text{м.с}} = \frac{\omega_{\text{к}}}{\omega_0}, \qquad (10.3)$$

где ω_0 и $\omega_{\text{к}}$ – рассеивание в начальный и конечный момент времени.

$$K_{\text{см}} = \frac{\left|\overline{Q}_{\text{к}} - \overline{Q}_0\right|}{T}, \qquad (10.4)$$

где $\overline{Q}_0$ и $\overline{Q}_{\text{к}}$ – центр технологического допуска в начальный и конечный момент времени t.

Задание и порядок выполнения работы

Используя теорию, изложенную выше, определить показатели качества технологических процессов для условий задачи 1 и 2.

Задача 1. На чертеже указан размер вала ∅25 h6. Исследование точности шлифовального станка показало, что при обработке детали в диапазоне 20–40 мм наблюдается рассеивание ω = 0,015 мм. Необходимо оценить точность технологического процесса шлифования.

Задача 2. Определить стабильность технологического процесса при выполнении операции точения, в которой присутствует погрешность настройки ($K_{\text{Т.Н}} \neq 0$) и нарастающая в процессе работы дополнительная погрешность (при износе резца размеры детали d увеличиваются с течением времени t). Эта ситуация представлена на рис. 10.1.

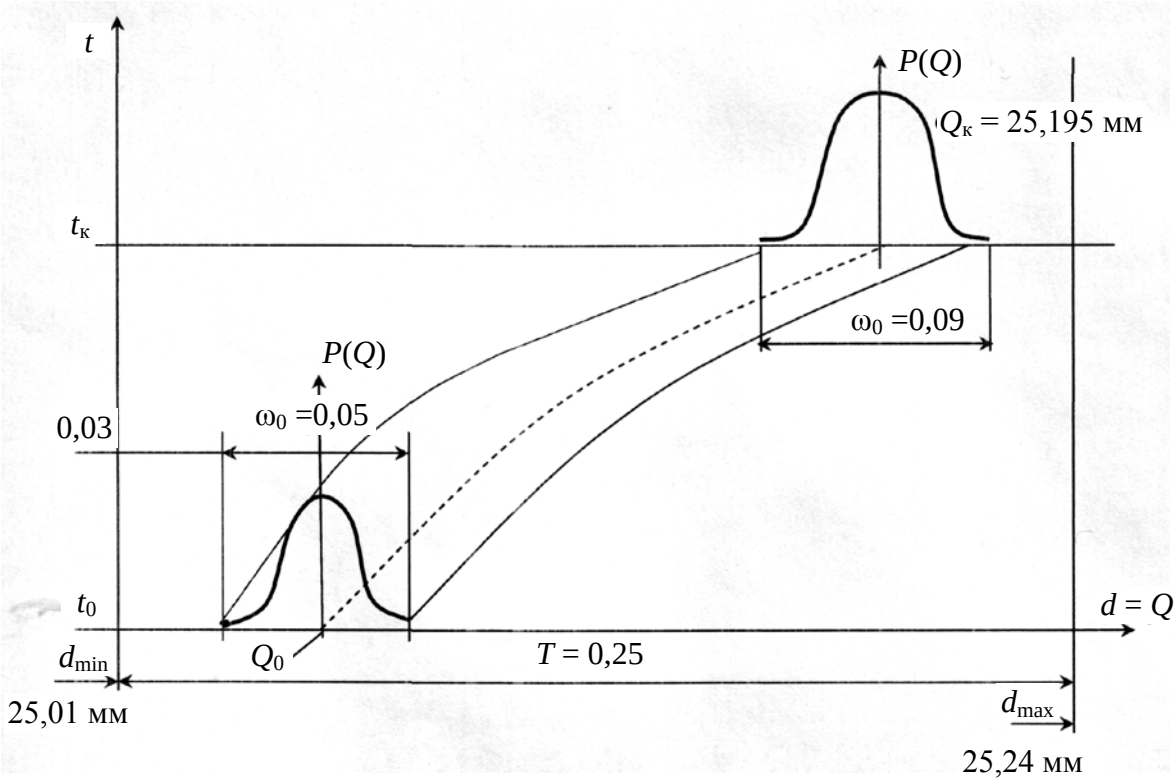


Рис. 10.1. Изменение распределения размеров деталей

Содержание отчета

Отчет должен содержать решение задач 1 и 2 с пояснениями.

Контрольные вопросы

1. Характеристики технологического процесса.
2. Приведите расчетную формулу определения коэффициента запаса точности и раскройте его сущность.
3. Приведите расчетную формулу определения коэффициента смещения настройки и раскройте его сущность.
4. Приведите расчетную формулу определения коэффициента межнастроечной стабильности и раскройте его сущность.

Литература для подготовки к выполнению и защите практического занятия: [4; 9, с. 167–175, 190–195; 11, с. 176–183].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомин, В. Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : учеб. пособие / В. Н. Фомин. – М. : Ось-89, 2002. – 387 с.

2. Калейчик, М. М. Квалиметрия : учеб. пособие / М. М. Калейчик. – М. : 2003. – 198 с.

3. Гиссин, В. И. Управление качеством : учеб. пособие / В. И. Гиссин. – М. : ИЦК «Март»; Ростов н/Д : Издат. центр «МартТ», 2003. – 400 с.

4. Недбай, А. А. Основы квалиметрии : учеб. пособие / А. А. Недбай, Н. В. Мерзликина. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 123 с. – (Квалиметрия : УМКД № 104-2007 / рук. творч. коллектива А. А. Недбай).

5. Азгальдов, Г. Г. О квалиметрии : учеб. пособие / Г. Г. Азгальдов, Э. П. Райхман ; под ред. А. В. Гличева. – М. : Стандартиздат, 1973.

6. Квалиметрия : метод. указания по курсовой работе / сост. : А. А. Недбай, Н. В. Мерзликина. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 19 с. – (Квалиметрия : УМКД № 104-2007 / рук. творч. коллектива А. А. Недбай).

7. Квалиметрия : метод. указания по самостоятельной работе студентов / сост. А. А. Недбай. – Красноярск : ИПЦ СФУ, 2007.

8. Басовский, Л. Е. Управление качеством : учебник / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 212 с.

9. Никифоров, А. Д. Управление качеством : учеб. пособие для вузов / А. Д. Никифоров. – 2-е изд., стер. – М. : Дрофа, 2006 – 719 с.

10. Федюкин, В. К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции : учебник / В. К. Федюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Лебедев. – М. : Информационно-издательский дом «Филинъ», 2000.– 328 с.

11. СТО 4.2-07–2008. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности [текст] / разраб. Т. В. Сильченко, Л. В. Белошапко, В. К. Младенцева, М. И. Губанова. – Введ. впервые 09.12.2008. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 47 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Номер свойства по дереву свойств	$\overline{q}'_{ij}$													Вычисление значений групповых коэффициентов весомости			
	1-й тур							2-й тур						$\overline{q}'_i$	A	q_i	$\sum_{i=1}^{n} q_i = 1$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(рекомендуемое)

Наименование и номер показателя качества дерева свойств	Действительное значение показателя качества							Стандартные (базовые) значения показателя $P_i^{баз}$
	1	2	3	4	5	6	7	
1. 2. 3. . .

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(рекомендуемое)

Наименование и номер показателя качества из дерева свойств	Относительный уровень показателя качества K_i						
	1	2	3	4	5	6	7
1. 2. 3. . .

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ГРАФИК
учебного процесса и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Квалиметрия»
направления 220500.62 «Стандартизация, управление качеством и метрология»
механико-технологического факультета 3-го курса на 6-й семестр

Наименование дисциплины	Семестр	Часов аудиторных занятий		Форма контроля	Часов на самостоятельную работу		Недели учебного процесса семестра															
		Всего	По видам		Всего	По видам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Квалиметрия	6	68	Лекции – 34	Экзамен	76	ТО – 22		ТО 1,5	ТО 1,5	ТО 3	ТО 3	ТО 2,5	ТО 2,5	ТО 1	ТО 1	ТО 0,5	ТО 0,5	ТО 1	ТО 1	ТО 1	ТО 1	ТО 0,5	ТО 0,5
						ПЗ – 8	ПЗ 1 1		ПЗ 2 1,5			ПЗ 3 0,5	ПЗ 4 1			ПЗ 5 0,5	ПЗ 6 0,5	ПЗ 7 0,5	ПЗ 8 1		ПЗ 9 1	ПЗ 10 0,5	
			Практические – 34			КР – 34		ВКР													СКР		
						РП – 8				РП				РП				РП				РП	
						ВК	ВК																
						Т – 4																	Т

Условные обозначения: ТО – изучение теоретического курса; КР – курсовая работа; ВКР – выдача курсовой работы; СКР – сдача курсовой работы; КН – контрольная неделя (аттестационная неделя); ВК – входной контроль (тестирование); ПК – промежуточный контроль (тестирование); РП – работа с периодикой, с Интернетом; ПЗ – практическое занятие; Т – тестирование.

Заведующий кафедрой В. С. Секацкий «_____» _____ 2007 г.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
Б1.В.ДВ.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СРЕДСТВ И ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Специальность
15.03.01 Машиностроение

программа подготовки бакалавриата
Направленность (профиль)/ специализация
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Горшков Э.В., доцент, к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знании должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны - это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Техническая диагностика средств и объектов машиностроения» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к выполнению *контрольной работы* и сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Техническая диагностика средств и объектов машиностроения» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ТЕМА 1: Классификация дефектов деталей машин. Обнаружение и поиск дефектов.

1.Какие формы проявления неработоспособности горных машин *вы знаете?*
2.Назовите основные причины, приводящие к потере работоспособности горного оборудования в процессе его эксплуатации*?*
3.Классификация видов изнашивания?
4.Методы измерения износа и пути снижения интенсивности изнашивания горных машин?
5.Основные закономерности изнашивания?
6.Допустимый и предельный износ?
7.Дефекты, возникающие в процессе эксплуатации горного оборудования?
8.Причины разрушений и анализ поверхностей разрушения деталей?
9. Меры по предупреждению разрушения деталей машин.
10.Методы и средства обнаружения дефектов.

Тема 2: ***Тестовое и функциональное диагностирование.***

1. Диагностика, как основа ТО и ремонта машин по их фактическому техническому состоянию?
2. Каковы основные этапы внедрения технической диагностики в систему ТО и ремонта машин?
3. Физические основы технической диагностики?
4. Термины и определения технической диагностики?
5. Какие процессы работы машин могут быть использованы в качестве диагностических?
6. Каким требованиям должен удовлетворять выходной сигнал при использовании его в качестве диагностического?

7. Какие задачи должны быть решены при внедрении системы диагностирования на предприятии?
8. Требования к оборудованию, переводимому на техническое диагностирование?
9. Последовательность и методика проведения работ по оснащению оборудования средствами ТД?
10. В чем заключается тестовое диагностирование и каким образом оно осуществляется в условиях горного предприятия?
11. Что включает в себя функциональное диагностирование?

ТЕМА 3: ***Технологические принципы диагностирования.***

1. Основные операции составляющие технологический процесс диагностирования?
2. Порядок выполнения работ по диагностике при плановом техническом обслуживании?
3. Диагностирование при возникновении неисправностей в процессе эксплуатации?
4. Рекомендации по установлению вида и объема ремонтно-обслуживающих работ по результатам диагностирования?
5. Каковы основные требования к математическим моделям объекта технического диагностирования?
6. Каким образом осуществляется построение алгоритма диагностирования?
7. Каковы основные требования, предъявляемые к методам технического диагностирования?
8. Субъективные и объективные методы диагностирования?
9. Классификация диагностических датчиков и область их применения?
10. Какие методы не разрушающего контроля находят наибольшее распространение при ремонтах горного оборудования.

ТЕМА4: ***Нормирование и нормативы диагностических параметров*****.**

1. Классификация и выбор диагностических параметров.
2. Субъективные и объективные методы диагностирования?
3. Номинальные, предельные и допустимые значения диагностических и структурных параметров?
4. Основной документ в который заносятся результаты диагностирования?
5. Каким образом разрабатываются нормативные данные по диагностике?
6. Совершенствование организации ТО и ремонта машин с применением диагностики.
7. Периодичность диагностирования.
8. Какие факторы оказывают влияние на эффективность использования средств диагностирования?

9.Какова экономическая эффективность от внедрения средств диагностирования горных машин?
10.Пути повышения эффективности диагностирования.

ТЕМА 5: ***Прогнозирование износа деталей и технического состояния машин*****.**

1.Каким образом осуществляется прогнозирование технического состояния машин?
2.Методика прогнозирования износа деталей машин.
3.Технологические методы обеспечения долговечности машин.
4.Эксплуатационные методы обеспечения долговечности машин.
5.Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя детали.
6.Эксплуатационные методы управления техническим состоянием промышленного оборудования.
7.Восстановление утраченной работоспособности машин в период производства текущих и капитальных ремонтов.
8.Повышение ресурса промышленного оборудования путем применения системы мониторинга.

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики– это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»:

можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);

- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);

- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);

- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что

внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;

- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;

- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественно-научным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого излагается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «Техническая диагностика средств и объектов машиностроения» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Техническая диагностика средств и объектов машиностроения».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные гра-

фические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во -первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

.

.

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ Б1.В.ДВ.03.02 РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность
15.03.01 Машиностроение

программа подготовки бакалавриата
Направленность (профиль)/ специализация
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

Автор: Горшков Э.В., доцент, к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..…….5

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…6

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ…… 10

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ
…….....11

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...……..13

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ……...13

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..14

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знании должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны - это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа - лекционные, практические занятия;

2. внеаудиторная самостоятельная работа – дополнение лекционных материалов, подготовка к практическим занятиям, подготовка к участию в деловых играх и дискуссиях, выполнение письменных домашних заданий, Контрольных работ (рефератов и т.п.) и курсовых работ (проектов), докладов и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Ремонт технологического оборудования машиностроительных предприятий» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к выполнению *контрольной работы* и сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Ремонт технологического оборудования машиностроительных предприятий» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к тестированию;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

ТЕМА 1: Организация ремонта машин.

1. Какие системы ремонта машин находят применение на ремонтных предприятиях горной отрасли*?*

2. Какие методы ремонта машин Вы знаете*?*

3.Какие стратегии ремонта оборудования применяются на горнодобывающих предприятиях?

4.Основные элементы системы ППР?

5. Структура ремонтного цикла и формы ее представления.?

6.Существующая система планирования ремонтных работ в горном производстве?

7. Методика расчета графика ППР на планируемый период.

8.Определение трудоемкости ремонтных работ на годовую программу?

9.Расчет штатов ремонтного персонала на парк оборудования?

10. Пути совершенствования системы ППР.

Тема 2: Подготовка ремонтных работ.

1. В чем заключается организационная подготовка ремонта?

2.Что включает в себя конструкторская подготовка ремонтных работ?

3.Из чего состоит технологическая подготовка ремонта горного оборудования?

4.Построение линейных графиков ремонта.

5.Кем разрабатываются сетевые графики ремонта машин?

6. Что включают в себя и что дают ремонтному производству сетевые графики ремонта?

7. Классификация и общая характеристика способов восстановления деталей машин?

6. Выбор способа восстановления деталей по технологическому, долговечностному и технико-экономическому критерию?

7.Назовите основные эксплуатационные документы, применяемые для горного оборудования?

8.Руководящие материалы, входящие в состав ремонтной документации?

9.Где и каким образом организовано техническое обслуживание карьерного оборудования?

10.Цели, задачи и состав электромеханической службы карьеров?

ТЕМА 3: Дефектация и дефектоскопия.

1.Какова специфика работы машин в условиях горного производства?

2.Основные причины приводящие к потере работоспособности машин?

2. Какие виды трения и износов Вы знаете?

3.Меры борьбы с износами деталей?

4.Допустимый и предельный износы. Критерии определения предельных износов.

4.Причины поломок деталей горных машин?

5.Меры борьбы с деформациями и изломами деталей горного оборудования?

6.Какие признаки выбраковки деталей Вы знаете?

7.Какие методы контроля дефектов деталей применяются при проведении ремонтов на ремонтных базах?

8.Какие средства контроля размеров, формы и взаимного расположения деталей ВЫ знаете?

9.Какие методы не разрушающего контроля находят наибольшее распространение при ремонтах горного оборудования?

10.Сущность дефектации и сортировки деталей

. **ТЕМА4: Технология ремонта типовых деталей.**

1.Классификация и общая характеристика способов восстановления деталей машин.

2.Выбор способа восстановления деталей по технологическому, долговечностному и технико-экономическому критерию.

3.Разработка технологии ремонта валов и осей.

4.Ремонт втулок, подшипников скольжения и качения.

5.Основные дефекты корпусных деталей и их ремонт.

6.Расчет режимов восстановления изношенных поверхностей.

7.Расчет режимов механической обработки восстановленных поверхностей.

8. Каким образом осуществляется прогнозирование технического состояния машин?

9. Какое влияние оказывает режим работы и условия эксплуатации на интенсивность изнашивания?

10.Основные закономерности изнашивания деталей машин

ТЕМА 5: Приемка машин после ремонта.

1. Особенности сборки машин после ремонта.

2. Проверка качества сборки и обкатка узлов промышленного оборудования на испытательных стендах.

3.Испытания машин после ремонта в условиях ремонтного предприятия.

4. Порядок проведения работ по приемке оборудования из ремонта.

5.Заполнение паспорта оборудования.
6. Сдача отремонтированных машин заказчику.
7. Состав приемной комиссии.
8. Испытания машин после ремонта в условиях эксплуатации.
9. Обкатка машин после проведения капитального ремонта.
10. Оформление акта приемки.

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики– это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со

списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте

вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Подготовка к практическому занятию включает следующие элементы самостоятельной деятельности: четкое представление цели и задач его проведения; выделение навыков умственной, аналитической, научной деятельности, которые станут результатом предстоящей работы. Выработка навыков осуществляется с помощью получения новой информации об изучаемых процессах и с помощью знания о том, в какой степени в данное время студент владеет методами исследовательской деятельности, которыми он станет пользоваться на практическом занятии. Следовательно, работа на практическом занятии направлена не только на познание студентом конкретных явлений внешнего мира, но и на изменение самого себя. Второй результат очень важен, поскольку он обеспечивает формирование таких общекультурных компетенций, как способность к самоорганизации и самообразованию, способность использовать методы сбора, обработки и интерпретации комплексной информации для решения организационно-управленческих задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности студента. Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, данных и специальных источников, с которыми предстоит учебная работа. В ходе самого практического занятия обучающиеся выполняют задания и делают выводы по выполненному практическому заданию.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;

- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;

- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Контрольная работа – это письменная работа, выполняемая студентами самостоятельно, преимущественно по общим математическим и естественно-научным, а также специальным дисциплинам, в которой, как правило, решаются конкретные задачи.

Цель контрольной работы – оценка качества усвоения студентами отдельных, наиболее важных разделов, тем и проблем изучаемой дисциплины, умения решать конкретные теоретические и практические задачи.

Контрольная работа, как правило, имеет аналитическую или описательную части, может решать проблемные ситуации путем проведения численного моделирования или расчетов, в том числе с использованием ПК. По типу они могут иметь характер задач, расчётов, алгоритмов, программ и т.п.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно в соответствие с учебным планом.

Структура контрольной работы зависит от специфики изучаемой дисциплины. В общем виде контрольная работа должна содержать: титульный лист, введение, основную часть и заключение.

Во введении приводится формулировка контрольного задания, кратко излагается цель контрольной работы, место и роль рассматриваемого вопроса (проблемы) в изучаемой учебной дисциплине.

Основная часть контрольной работы должна, как правило, содержать основные определения, обоснования и доказательства, описание методики расчёта (формулы), а также иметь ссылки на используемые источники информации. Материал работы и ее отдельные положения должны быть взаимосвязаны. Основная часть может также включать анализ теории вопроса по теме контрольной работы. Здесь же приводятся исходные данные и значения параметров в соответствии с заданием на контрольную работу. После этого излагается ход рассуждений, описывается последовательность расчётов, приводятся промежуточные доказательства и результаты решения всей поставленной задачи.

В заключении формулируются краткие выводы по выполненной контрольной работе, а в её конце приводится список использованных источников информации.

Контрольные работы обучающихся выполняются согласно учебному графику и сдаются преподавателю за месяц до защиты контрольной работы. Преподаватель делает отметку о приеме работы в графике сдачи контрольных работ.

Ведущий преподаватель после проверки на титульном листе ставит оценку («зачтено» или «не зачтено») и подписывается. Выявленные в ходе проверки преподавателем замечания фиксируются на полях работы. Контрольные

работы, выполненные с нарушением установленных требований, а также их ксерокопии к рассмотрению не принимаются.

Типичными ошибками, допускаемыми обучающихся при подготовке контрольной работы, являются:

– содержание работы не соответствует цели и поставленным задачам контрольной работы;

– нарушение требований к оформлению контрольной работы;

– использование информации без ссылок на источник;

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «Ремонт технологического оборудования машиностроительных предприятий» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Ремонт технологического оборудования машиностроительных предприятий».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во -первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет»

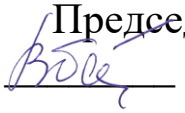
С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « технологическая оснастка»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения
износостойкости и восстановления деталей
машин и аппаратов»

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
Председатель комиссии

проф. В. П. Барановский

Сергей Александрович Волегов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения износостойкости
и восстановления деталей машин и аппаратов»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Волегов С. А. Лабораторный практикум. Руководство по выполнению лабораторных работ по дисциплине «по дисциплине « Технологическое оборудование машиностроительного производства» » для для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» специализации «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 83 с.

В руководстве приведены методические указания и приведены краткие теоретические положения, на основе которых решаются отдельные задачи, указывается конкретная справочная и техническая литература, которая должна быть использована при этом. Руководство содержит необходимый объем справочной информации в виде таблиц, для выполнения практических работ.

Руководство по выполнению лабораторных работ рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 2017 г. (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Рецензент: А. И. Мамедов канд. техн. наук

© Волегов С. А., 2019
© Уральский государственный горный университет, 2019

РАБОТА № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ, РАСШИРЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ

После того, как получено производственное задание, необходимо решить: с использованием какого оборудования и инструмента можно вести обработку; каким образом закрепить деталь и инструмент на станке; какие средства контроля использовать, чтобы размеры и формы детали соответствовали требованиям чертежа (эскиза).

Могут быть случаи, когда станок не обладает оборудованием, которое необходимо для выполнения задания. Поэтому необходимы устройства, расширяющие технологические возможности имеющихся станков. Так, при отсутствии фрезерного станка несложные фрезерные работы могут быть выполнены на токарном или вертикально-сверлильном станках. На ***специально оборудованном*** вертикально-сверлильном станке может выполняться свыше 50 операций, включающую токарную обработку и фрезерование плоскостей.

Пример. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков подразделяются на две группы. Приспособления одной группы, такие как дополнительные одно- и многошпиндельные фрезерные головки, головки для фрезерования реек, копировальные приспособления и т.п., не изменяют основного назначения станка, а приспособления другой группы – долбежные, сверлильные и шлифовальные головки – в корне меняют характер выполняемых на станке технологических операций.

Дополнительная вертикально-фрезерная головка (рис. 1, *а*), устанавливаемая на горизонтально-фрезерном станке, делает его более универсальным. Головку *2* крепят на вертикальных направляю-

щих *1* станины. Шпиндель *3* головки приводится во вращение от шпинделя станка через зубчатые колеса.

Приспособление для фрезерования реек (рис. 1, *б*), закрепляемое на хоботе *4* горизонтально-фрезерного станка, приводится в действие от шпинделя *5* станка. Впадину рейки прорезают фрезой *6* при поперечной подаче стола, а смещение рейки на один шаг выполняется вместе со столом в продольном направлении.

Двухшпиндельная фрезерная головка (рис. 1, *в*), может быть использована при обработке заготовки сразу с двух сторон или при фрезеровании ступенчатых поверхностей. В последнем случае один из шпинделей имеет осевое установочное перемещение. В некоторых конструкциях двухшпиндельных фрезерных головок можно регулировать расстояние между осями шпинделей.

Сверлильная головка (рис. 1, *г*), установленная на станке, имеет привод шпинделя от электродвигателя *7* через коробку скоростей *8*. Сверлильную головку используют при сверлении малых отверстий, когда необходима большая частота вращения инструмента.

Шлифовальную головку, показанную на рис.1, *д*, устанавливают на станине консольно-фрезерного станка, ее шпиндель *11* приводится во вращение шпинделем станка через две ременные передачи, что повышает частоту его вращения.

Долбежную головку (рис. 1, *е*) используют на фрезерном станке при отсутствии на производстве долбежного станка. Головку устанавливают на станине горизонтально-фрезерного станка. Ползун *9* с резцом *10* получает возвратно-поступательное движение от шпинделя станка через кривошипно-шатунный механизм.

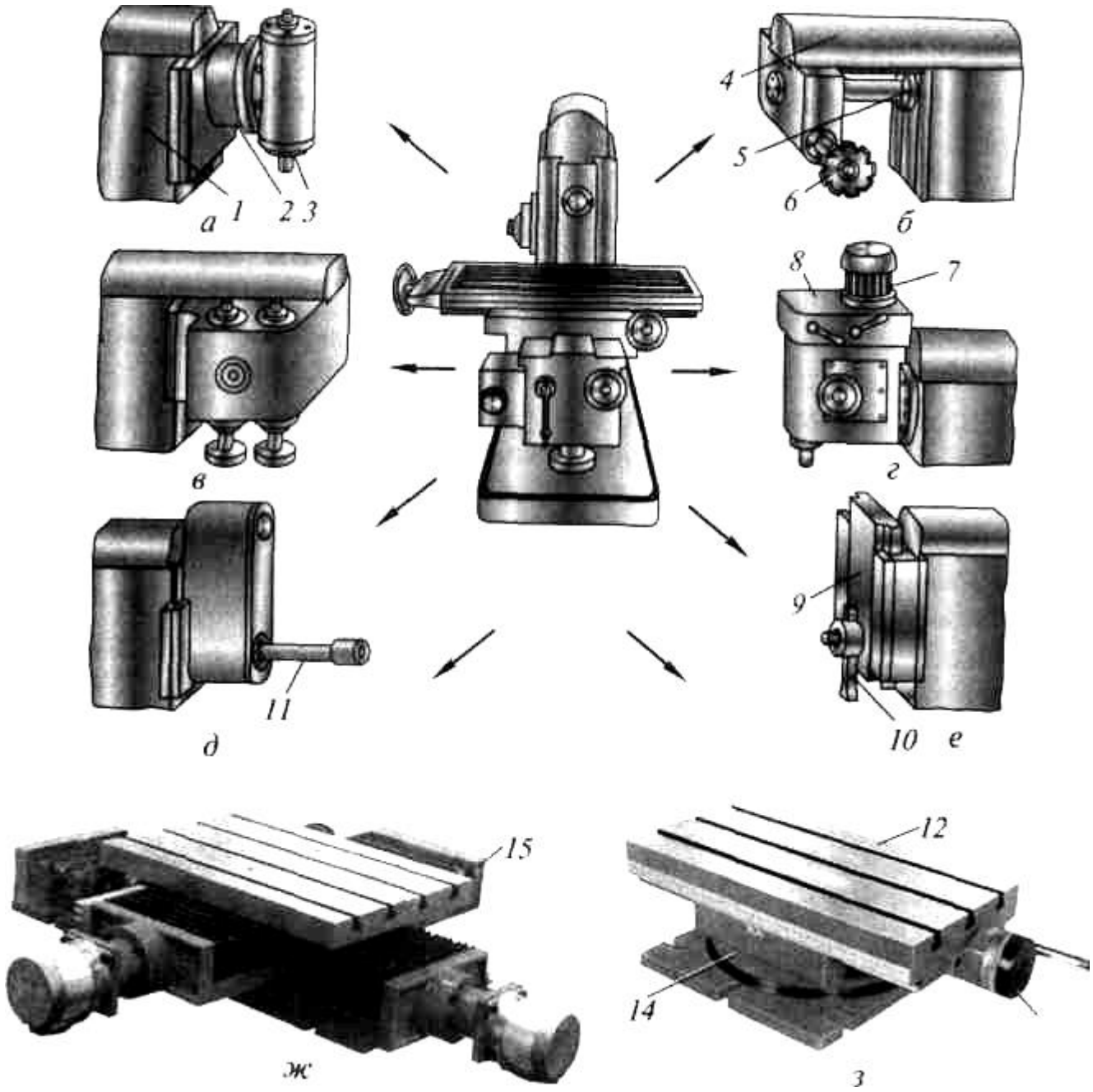


Рис.1. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков:

1 – направляющая станины; *2* – вертикально-фрезерная головка; *3,5* – шпиндель;*4* – хобот станка;*5* – шпиндель станка; *6* – фреза; *7* – электродвигатель; *8* – коробка скоростей; *9* – ползун; *10* – резец; *11* – шпиндель шлифовальной головки; *12* – стол для продольных перемещений с пазами;*13* – рукоятка; *14* – поворотный стол;*15* – крестовый стол

Для выполнения работ повышенной точности на универсальных станках нормального класса на стол станка (рис. 1, *ж*) устанавливают

дополнительный крестовый стол 15.

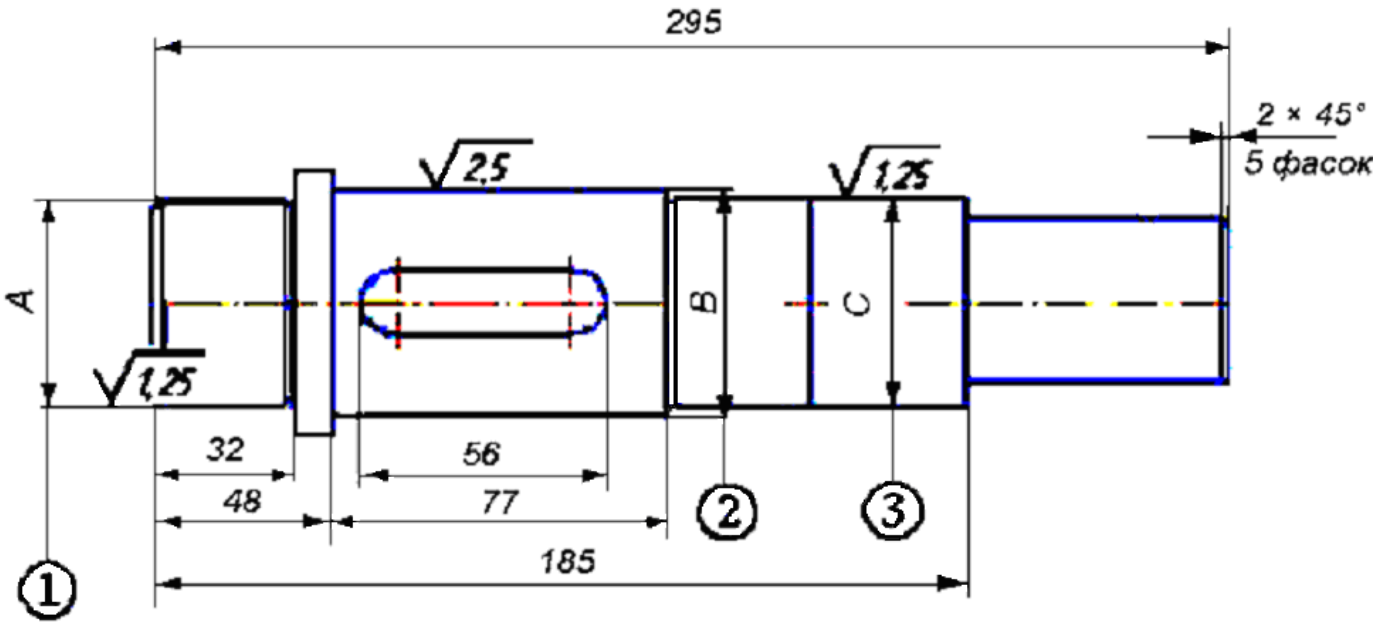
Дальнейшее расширение технологических возможностей горизонтальных и вертикальных фрезерных станков обеспечивает установка на поворотном столе *14* (рис. 1, *з*) *дополнительного стола 12* с пазами для продольных перемещений.

Помощь в выборе и рациональном применении систем станочных приспособлений могут оказать методические указания [2].

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться визуально с конструкциями предлагаемых устройств.
2. Скомпоновать и дать схему устройства, предназначенного для шлифования наружных цилиндрических поверхностей на токарном станке.
3. Подобрать круг (выбрать полную характеристику) и определить режим резания для обработки деталей из заданного материала (по литературе [1]).
4. Скомпоновать и дать схему устройства, предназначенного для обработки (фрезерования) многогранника на токарном станке.
5. Подобрать инструмент и рассчитать режим резания для обработки детали (многогранника) из заданного материала.

6. Данные для расчетов режимов резания брать из табл.1. Для расчета режима резания при обработке детали (многогранника)



принять размеры детали и материал по заданному варианту.

Рис. 2. Эскиз детали

Таблица 1

Варианты заданий

Вариант	поверхность	Диаметр	материал
1	1	A = 30	Ст 40 не закаленная
2	2	B = 40	Ст 35 не закаленная
3	3	C = 50	Ст 45 не закаленная
4	1	A = 60	Сталь 40ХНМА закаленная
5	2	B = 70	Сталь 30ХГС, закаленная
6	3	C = 80	Ст 40 закаленная
7	1	A = 90	Ст 40Х закаленная
8	2	B = 100	Ст 40 Х закаленная
9	3	C = 90	Ст 45Х закаленная
10	1	A = 80	Ст 45Х закаленная
11	2	B = 70	Ст 40Х не закаленная
12	3	C = 60	Ст 5 не закаленная

(Форма отчета для лабораторной работы № 1)

Студент _____ Группа _____

Отчет по лабораторной работе № 1
Изучение устройств, расширяющих технологические возможности станков

Схемы приспособлений

Эскиз инструмента с обозначением по ГОСТу

Режим резания (расчет)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ (Часть 1) для студентов профилизации «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 112 с.
2. Методические указания ЕСТТП. Выбор и рациональное применение систем станочных приспособлений. М.: Изд-во стандартов, 1979. – 87 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИЗУЧЕНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Цель работы: анализ конструкций некоторых рабочих приспособлений.

Краткие теоретические сведения

Для правильной работы каждой машины необходимо обеспечить определенное взаимное расположение ее деталей и узлов. При обработке деталей на станках заготовки также должны быть правильно ориентированы относительно механизмов и узлов станков. Погрешности формы и размеров обработанных заготовок определяются отклонениями положений режущих кромок и заготовок от траектории заданного формообразующего движения. Задачи взаимной ориентировки деталей и сборочных единиц в машинах при их сборке и заготовок на станках при изготовлении деталей решаются их базированием.

Под базированием понимается придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. При механической обработке заготовок на станках базирование осуществляется относительно элементов станка или инструмента. Для обеспечения обработки заготовки необходимо решить две задачи: сориентировать заготовку на станке (обеспечить ее правильное базирование) и закрепить ее в данном положении. Обе эти задачи решаются посредством наложения определенных ограничений (связей) на возможные перемещения заготовки в пространстве. Известно, что для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве

необходимо лишить его шести степеней свободы − трех поступательных перемещений вдоль осей координат и трех вращений вокруг указанных осей.

На рис. 3 представлена заготовка призматической формы с наложенными на нее связями в шести опорных точках (т. е. лишенная всех шести степеней свободы). Под опорной точкой понимают идеальную точку контакта заготовки и приспособления, лишающая заготовку одной степени свободы. Поверхности заготовок, используемые для базирования, называются базами. Различают:

- установочную базу − находящуюся в контакте с тремя опорными точками (точки 1, 2 и 3 на рис. 3);
- направляющую базу − находящуюся в контакте с двумя точками (точки 4 и 5);
- упорную базу − находящуюся в контакте с одной точкой (точка 6).

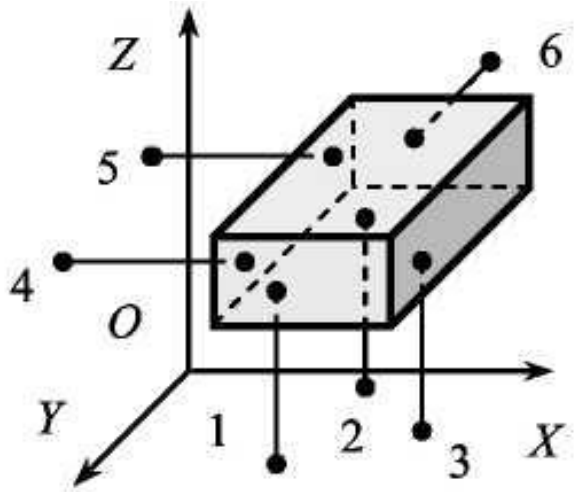


Рис. 3. Схема базирования призматической заготовки

Для повышения точности и надежности ориентировки в качестве установочной базы принимают поверхность с наибольшими раз-

мерами, позволяющими разнести три опорные точки как можно дальше друг от друга. В качестве направляющей базы принимается поверхность, наиболее протяженная по длине.

Для ориентирования тела в пространстве иногда не требуется лишение его всех 6 степеней свободы. Так, например, цилиндрическое тело, в большинстве случаев, допускает вращение вокруг своей оси. Тогда достаточно точно его положение в пространстве определится 5 опорными точками (рис. 4, 5).

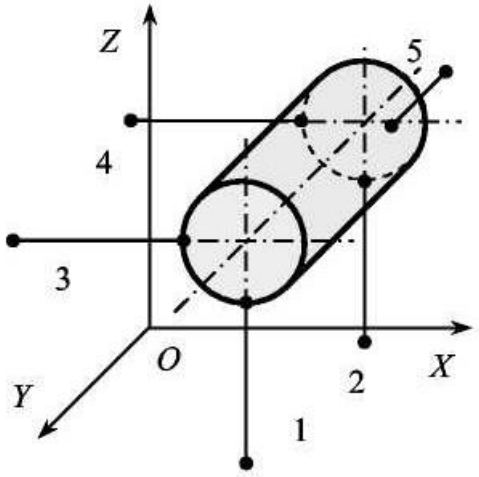


Рис. 4. Схема базирования длинной цилиндрической заготовки

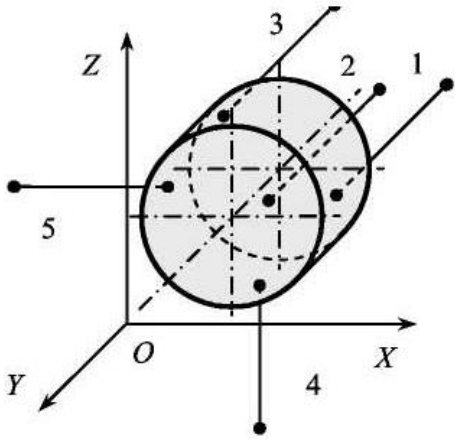


Рис. 5. Схема базирования диска

Для базирования заготовок и изделий в процессе их механической обработки и сборки используются приспособления − вспомогательные устройства, предназначенные для выполнения операций механической обработки, сборки и контроля.

По целевому назначению приспособления делятся:

- на станочные приспособления для установки и закрепления обрабатываемых заготовок на станках. В зависимости от вида обработки различают токарные, фрезерные, сверлильные, расточные, шлифовальные и другие приспособления;

- приспособления для крепления режущего инструмента. Они характеризуются большим числом нормализованных деталей и конструкций, что объясняется нормализацией и стандартизацией самих режущих инструментов; сборочные приспособления используют при выполнении сборочных операций, требующих большой точности сборки и приложения больших усилий; контрольно-измерительные приспособления применяют для контроля заготовок, промежуточного и окончательного контроля, а также для проверки собранных узлов и машин. Контрольные приспособления служат для установки мерительного инструмента;
- приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок, а также отдельных деталей и узлов при сборке.

В зависимости от вида производства, технологических требований станочные приспособления подразделяют:

- на универсальные приспособления (УП) – применяют для оснащения станков, работающих в условиях единичного производства, допускают установку заготовок различной формы и размеров. УП не обеспечивают высокой точности установки заготовок. К ним относятся универсальные, поворотные, делительные столы; самоцентрирующие патроны, тиски, кондукторы;
- универсально-сборные (УСП) − предназначены для оснащения станков, работающих в условиях единичного и мелкосерийного производства, их собирают из взаимозаменяемых узлов состоит из нескольких групп элементов и узлов: 1) базовые элементы, в том числе, плиты, угольники и др.; 2) опорные и корпусные элементы, опоры,

планки, угольники и др.; 3) направляющие и установочные элементы - втулки, шпонки, штыри, колонки и др.; 4) прижимные элементы - прихваты, кулачки и др.; 5) крепежные элементы - болты, гайки, шайбы, штифты и др.; 6) неразборные узлы - зажимные, установочные, силовые и др.;

- сборно-разборные (СРП) − применяют в условиях мелкосерийного и серийного производства, их собирают из нормализованных и стандартизованных узлов и деталей, которые возможно дорабатывать в процессе сборки приспособления, предназначены для крепления однотипных заготовок;
- универсально-переналаживаемые (УПП) – применяются в мелкосерийном и серийном производствах, состоят из корпусных деталей, снабженных сменными наладками, при этом корпусные детали и их приводы сохраняются постоянными, являясь неразборной частью. В состав УПП входят кулачковые и цанговые патроны, тиски, делительные устройства, скальчатые кондукторы, столы и др.;
- специальные (СП) − предназначены для выполнения налаженных операций, закрепленных за определенными станками, разрабатываются на конкретные заготовки для выполнения конкретных операций, обеспечивают высокую точность и быстрое закрепление, используются в условиях массового производства.

Приспособления для токарных и круглошлифовальных станков.

К ним относятся центры, поводковые приспособления, оправки, цанги, люнеты, патроны различных типов.

Центры устанавливают в шпинделе передней бабки токарного или шлифовального станка.

Они подразделяются на следующие типы:

- неподвижные;
- вращающиеся (рис. 6);
- плавающие;
- рифленые

Конусная поверхность центра предназначена для установки детали и имеет угол при вершине 60°, 90°, 120°; хвостовик центра изготавливают с конусом Морзе определенного номера (№ 2, 3, 4, 5, 6).

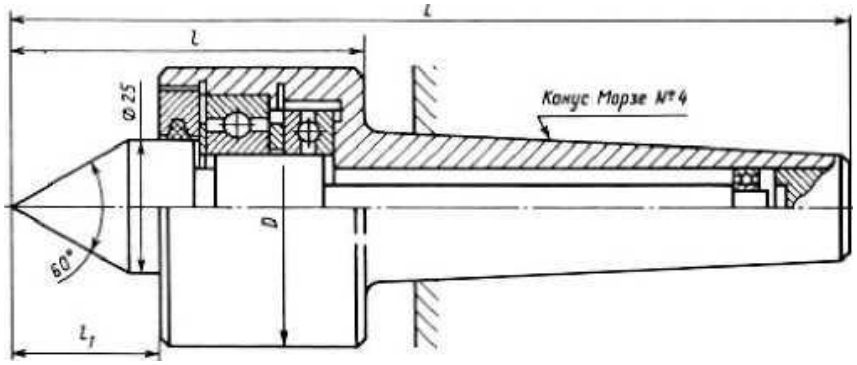


Рис. 6. Задний вращающийся центр для установки детали с центровыми отверстиями

Поводковые приспособления применяют для передачи вращательного движения (крутящего момента) от шпинделя станка к обрабатываемой детали, установленной в центрах, на оправке или в патроне. К поводковым приспособлениям относятся хомутики, поводковые планшайбы, поводковые патроны. Схема точения заготовки *2*, закрепленной в центрах и поводковом патроне *3* с хомутиком *1*, представлена на рис. 7.

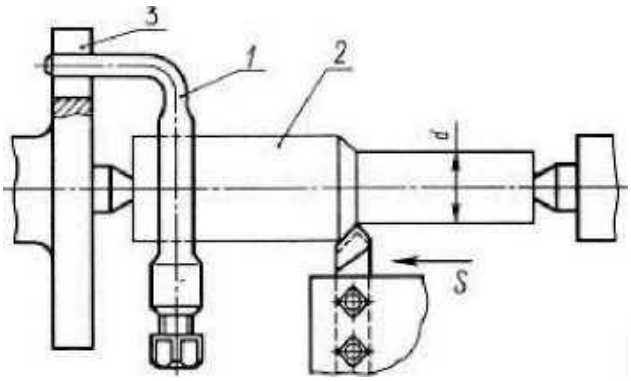


Рис.7. Схема обработки заготовки на токарном станке

Поводковые патроны имеют два или три эксцентриковых кулачка с насечкой, которые в начале обработки под действием сил резания зажимают обрабатываемую деталь, установленную в центрах станка, и передают ей крутящий момент от шпинделя станка; с увеличением крутящего момента резания автоматически увеличивается крутящий момент патрона. Для удобства установки деталей на центры применяют конструкции с автоматически раскрывающимися кулачками.

Кулачковые патроны применяют для установки и зажима различных деталей, обрабатываемых на токарных и шлифовальных станках. В зависимости от количества кулачков патроны разделяют на двух-, трех- и четырехкулачковые.

Наибольшее применение имеют универсальные трехкулачковые спирально-реечные патроны с плоской спиралью и ручным ключевым зажимом (рис. 8). В корпусе 1 патрона расположен диск 2, имеющий на одном конце коническое зубчатое колесо, на другом − спиральные реечные пазы, находящиеся в зацеплении с рейками 3. В крестообразном пазу реек 3 устанавливают и закрепляют винтами 4 прямые или обратные накладные кулачки. При вращении

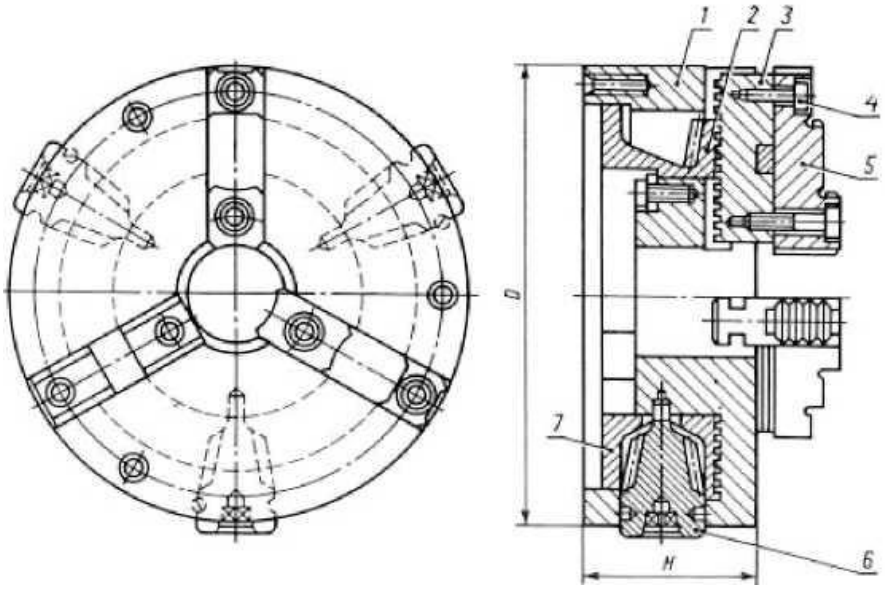


Рис. 8. Трехкулачковый спирально-реечный самоцентрирующий патрон

торцовым ключом одного из трех конических зубчатых колес 6, находящихся в зацеплении с коническим зубчатым венцом диска 2, последний поворачивается и перемещает рейки 3 с кулачками 5 к оси патрона при зажиме детали и от оси − при ее освобождении. Крышка 7 удерживает диск 2 в корпусе патрона от продольного смещения и препятствует попаданию в патрон стружки и грязи.

Цанговые патроны используются для закрепления заготовок из сортового проката простой геометрической формы. Основным элементом такого патрона является цанга -разрезная пружинящая втулка. Конструкция цангового патрона с центрированием по наружному диаметру заготовки с выдвижной цангой представлена на рис. 7 (N - осевая сила; Q - радиальная сила, действующая на деталь; Q1 - сила

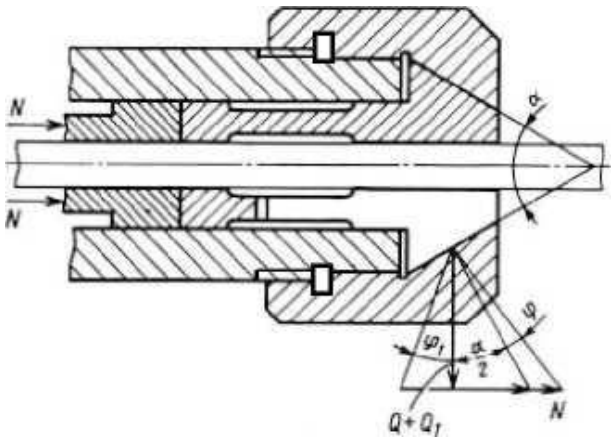


Рис. 9. Цанговый патрон с выдвижной цангой

предварительного сжатия лепестков цанги; α = 30 ... 40° – угол при вершине конуса цанги; φ = 6...8° – угол трения).

Оправки применяют для установки деталей по центральному отверстию. К таким деталям относятся втулки, гильзы, кольца, зубчатые колеса, обрабатываемые на многорезцовых, шлифовальных и других станках. Зажим и разжим детали на оправке производится механизированным приводом. В зависимости от способа закрепления оправки на станке различаются центровые, шпиндельные и фланцевые оправки.

Центровые оправки имеют центровые отверстия, которыми они устанавливаются на центры токарных, шлифовальных и других металлорежущих станков. Они могут иметь коническую рабочую поверхность для обеспечения высокой точности центрирования (рис. 10, *а*). Для установки деталей с зазором (рис.10, *б*) или натягом используется гладкая оправка, на цилиндрической части которой устанавливают обрабатываемую деталь.

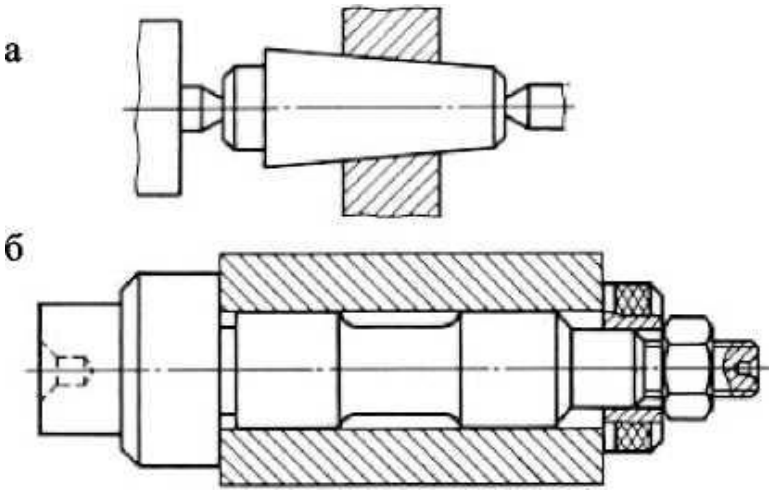


Рис. 10. Центровые оправки для установки цилиндрических заготовок в центрах на токарном станке

Шпиндельные оправки конической частью вставляются в корпус шпинделя станка. Для обеспечения высокой концентричности наружных и внутренних поверхностей применяется оправка с разрезной втулкой, на которой устанавливают и зажимают обрабатываемую деталь (рис.11).

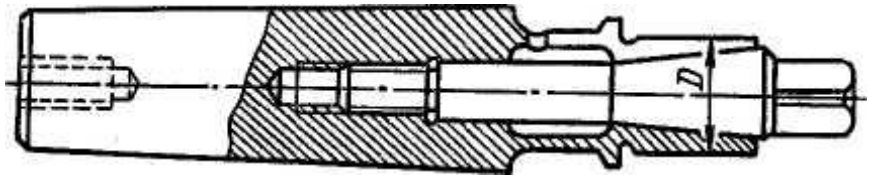


Рис. 11. Шпиндельная разжимная оправка

Люнеты (рис. 12) применяют в качества дополнительных опор при обработке нежестких валов. Используются универсальные неподвижные или подвижные люнеты с раздвижными кулачками и специальные, предназначенные для обработки определенных деталей или для поддержания приспособления, установленного на шпинделе станка и имеющего большой вылет.

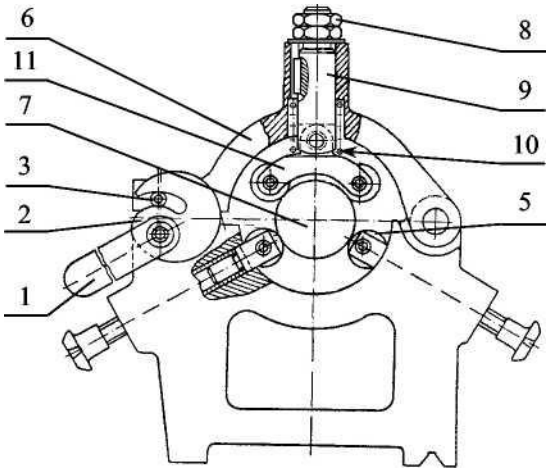


Рис. 12. Неподвижный универсальный люнет

В корпус 4 люнета установлены два шарикоподшипника 5. В отверстие крышки 6 вставлен валик 9 с пружиной, на конце валика подвижно закреплена серьга 11с двумя шарикоподшипниками 5. При закреплении обрабатываемого вала 7 опускают крышку 6 люнета и верхней гайкой 8 регулируют положения валика 9. Рукояткой 1 поворачивают эксцентрик 2, в спиральный паз которого входит штифт 3, установленный в крышке 6, и крышка перемещается к центру люнета. При этом пружина 10 прижимает серьгу 11с верхними подшипниками к валу и он зажимается между верхними и нижними подшипниками.

Приспособления для сверлильных станков

Кондукторы предназначены для установки деталей, обрабатываемых на сверлильных станках, имеют кондукторные втулки для направления режущего инструмента.

Кондукторные втулки (рис. 13) служат для направления режущего инструмента при обработке отверстий в деталях на сверлильных, агрегатных и расточных станках. Кондукторные втулки классифицируются на постоянные без буртика и с буртиком (рис. 11, а) и

сменные с буртиком (рис. 11, б, в). При обработке деталей с направлением режущего инструмента кондукторными втулками необходимо применять охлаждение для предупреждения большого нагревания инструмента и возможности его заедания во втулке. Кондукторные плиты служат для установки в их отверстиях кондукторных втулок.

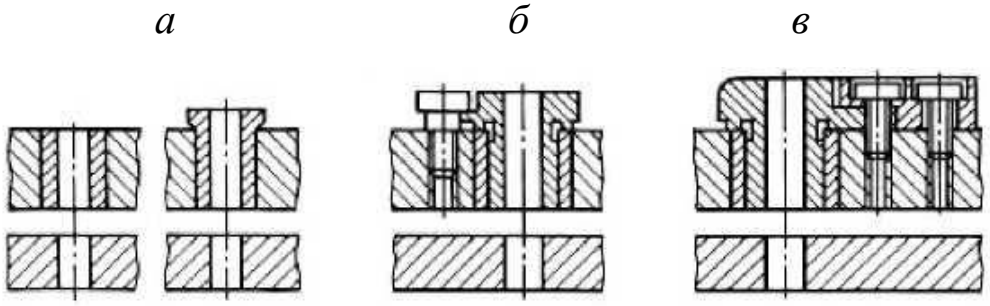


Рис. 13. Кондукторные втулки

Различают кондукторы накладные, стационарные, передвижные, поворотные. Наиболее широко применяются скальчатые кондукторы консольного и портального типов, с ручным или пневматическим зажимом (рис. 14).

В конструкции любого скальчатого кондуктора входят постоянные и сменные узлы (наладки). Постоянная часть кондуктора состоит из двух или трех расположенных в корпусе скалок, несущих кондукторную плиту, механизма для перемещения скалок и зажима обрабатываемых деталей. Сменные наладки проектируются в соответствия с конфигурацией обрабатываемых деталей и состоят из установочно-зажимных узлов и сменной кондукторной плиты с комплектом кондукторных втулок.

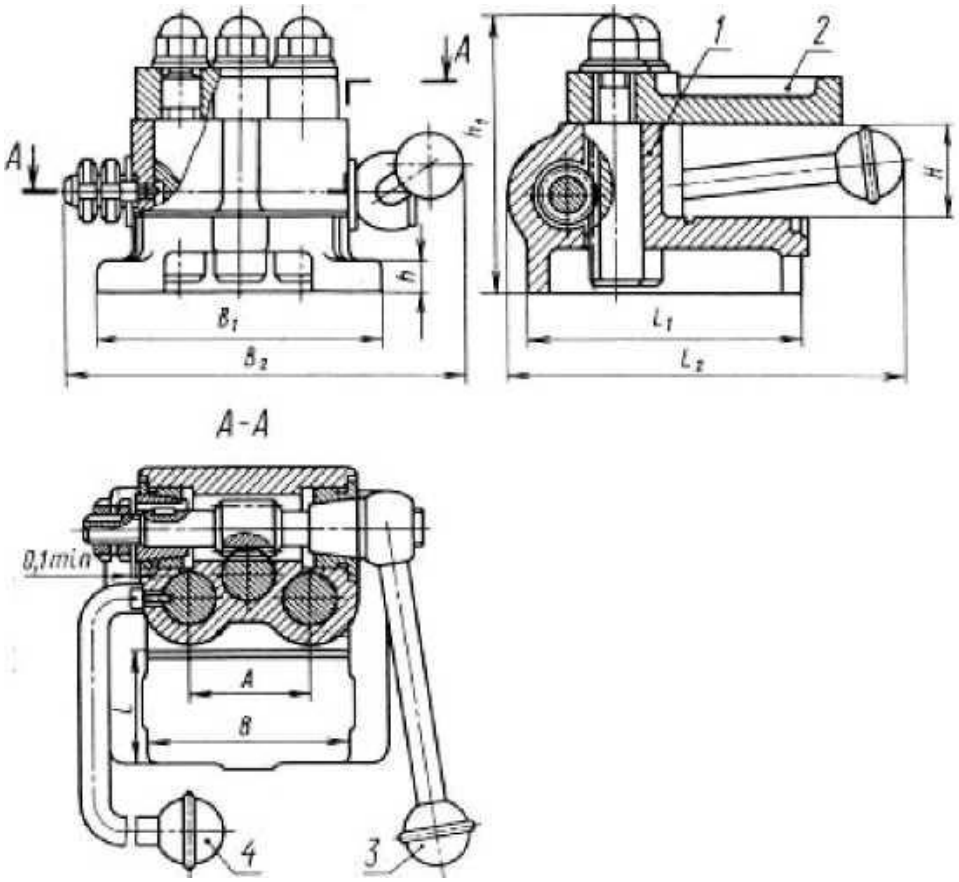


Рис. 14. Кондуктор скальчатый с конусным зажимом

В отверстиях корпуса 1 скользят три скалки, на которых гайками закреплена кондукторная плита 2. Средняя скалка-рейка с косыми зубами связана с зубчатым валиком. Правый конец этого валика имеет конический участок, а на левом конце его на шпонке смонтирована конусная втулка. Оба конуса притерты в конических отверстиях крышек. Опускание плиты 2 осуществляется рукояткой 3.

В момент контакта плиты с обрабатываемой деталью скалка-рейка останавливается. При дальнейшем нажиме на рукоятку горизонтальная составляющая реакции со стороны скалки-рейки на зубчатый валик смещает его влево, затягивает первый конусный замок и стопорный механизм. Для освобождения детали и подъема плиты ру-

коятку вращают в обратную сторону. Горизонтальная составляющая реакции зубца скалки на зубец валика изменяет свое направление и выжимает конический участок валика из конического гнезда крышки, что дает возможность поднять плиту. В ее крайнем верхнем положении скалка-рейка, действуя на зубчатый валик, смещает его вправо, при этом коническая втулка затягивается в гнездо крышки и срабатывает левый самотормозящийся конусный замок, удерживая плиту в верхнем положении.

Приспособления для фрезерных станков

Приспособления, применяемые во фрезерных станках можно разделить на приспособления для закрепления заготовок, приспособления для закрепления фрез и приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков.

Станочные тиски являются универсальным приспособлением, их применяют для базирования различных по форме и размерам деталей. Тиски имеют постоянные детали (корпус, салазки, механизм зажима) и сменные губки, которые используют при обработке деталей различных типоразмеров. По конструкции механизма зажима тиски различаются на винтовые и эксцентриковые. По типу силового привода - с ручным приводом, с механическим приводом, пневматические, пневмогидравлические, гидравлические. Кроме того, тиски бывают поворотные и неповоротные.

Тиски станочные с эксцентриковым зажимом и одной подвижной губкой (рис. 15) имеют корпус 1, по направляющим которого перемещается подвижная губка 2 с помощью ходового

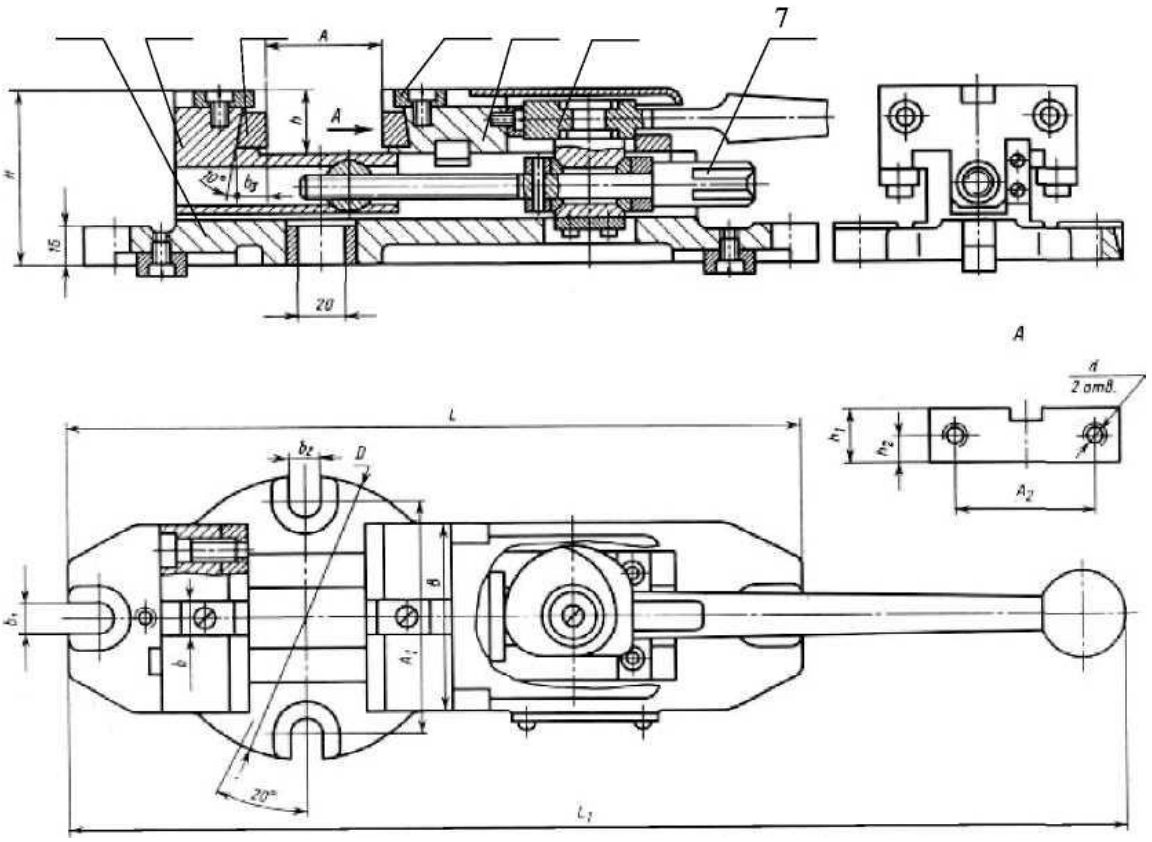
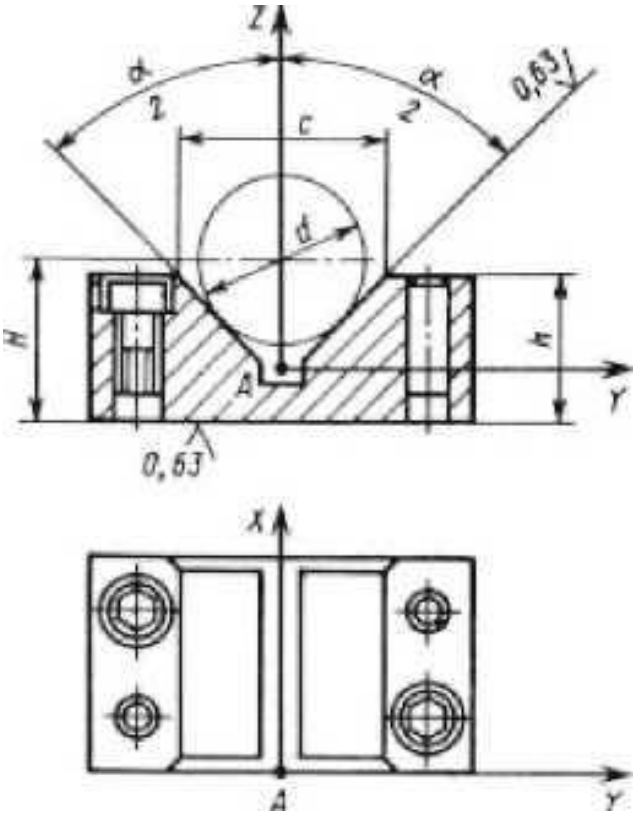


Рис. 15. Тиски станочные с эксцентриковым зажимом и одной подвижной губкой

винта 7 (при наладке тисков) и эксцентрика 6 с рукояткой (в процессе эксплуатации тисков). Деталь закрепляется между опорными поверхностями подвижной губки 2 и неподвижной губки 5. Накладные губки 3 выполняются в соответствии с формой зажимаемой детали и фиксируются с помощью накладных шпонок 4. Тиски могут устанавливаться непосредственно на стол станка или крепиться с помощью подставок.

Для базирования деталей, имеющих цилиндрические поверхности, используют опорные призмы различных конструкций. Призмы (рис. 16) применяются для базирования коротких заготовок или как элемент опорной сборной призмы, предназначенной для базирования

длинных заготовок. При установке деталей по черновой базе, а также при установке ступенчатых валов рабочие поверхности призм делают узкими



.Рис. 16. Призма для установки цилиндрических заготовок по обработанным поверхностям

Для расширения технологических возможностей фрезерных станков используют различные приспособления, позволяющие сообщить детали дополнительные рабочие или вспомогательные движения. К ним относятся круглые поворотные столы, делительные головки с прерывистым и непрерывным поворотом и др.

Делительные головки применяют для установки, зажима и периодического поворота заготовок на требуемый угол или для их непрерывного вращения при фрезеровании винтовых канавок.

Конструкции делительных головок весьма разнообразны, хотя

состоят из одних и тех же частей: корпуса, поворотной части, делительного механизма (фиксатора) и механизма зажима поворотной части.

Наиболее распространена универсальная лимбовая делительная головка (рис. 17, *а, б*). Она состоит из корпуса 1, делительного лимба5, поворотного барабана 2 и шпинделя 4 с центром. В корпусе на шпинделе жестко закреплено червячное зубчатое колесо (обычно с числом зубьев z = 40), находящееся в зацеплении с однозаходным червяком (k = 1). Вращение шпинделю сообщают рукояткой 6. Поворот рукоятки и соответственно заготовки на требуемый угол осуществляется с помощью лимба 5. Для удобства отсчета используют раздвижной сектор 7. На шпинделе 4 закреплен лимб 3 для непосредственного деления заготовки на части.

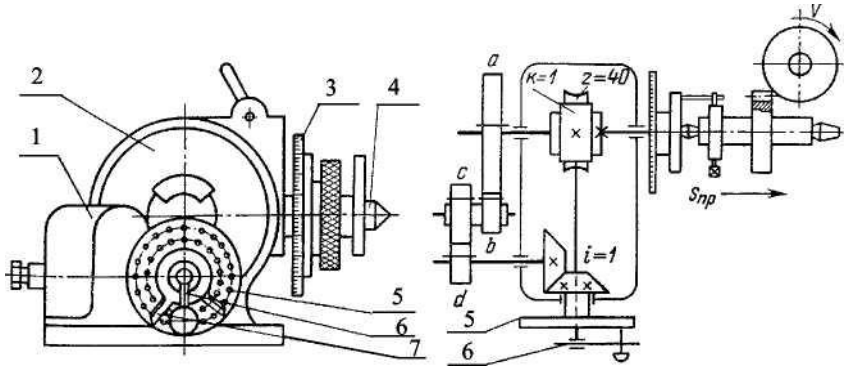


Рис. 17. Универсальная делительная головка

Винтовые канавки фрезеруют при непрерывном вращении шпинделя делительной головки, которое он получает от винта продольной подачи стола универсально-фрезерного станка через сменные зубчатые колеса *a, b, c* и *d.*

Установка и зажим обрабатываемых деталей в делительных головках обычно производятся с помощью центров (при наличии зад-

ней бабки), трехкулачковых патронов, цанг и других центрирующих устройств, монтируемых на шпинделе головки.

Необходимое оборудование, приспособление, инструмент, материалы

Задний центр.

Хомутики.

Оправки.

- Люнет.

Трехкулачковый патрон.

Кондуктор.

Машинные тиски.

Делительные головки.

Правила техники безопасности

Выполнять только порученное задание.

Бережно относиться к приборам и оборудованию.

По окончании работы убрать за собой рабочее место.

Порядок выполнения работы

1. Подобрать станочное приспособление для закрепления детали в соответствии с вариантом (табл. 1).

Таблица 1

Номер варианта	Эскиз детали	Номер варианта	Эскиз детали	Номер варианта	Эскиз детали
1	Рис. 16 *	6	Рис. 21 *	11	Рис. 26 *
2	Рис. 17 *	7	Рис. 22 *	12	Рис. 27 *
3	Рис. 18 *	8	Рис. 23 *	13	Рис. 28 *
4	Рис. 19 *	9	Рис. 24 *	14	Рис. 29 *
5	Рис. 20 *	10	Рис. 25 *	15	Рис. 30 *

* Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, ±IT14/2.

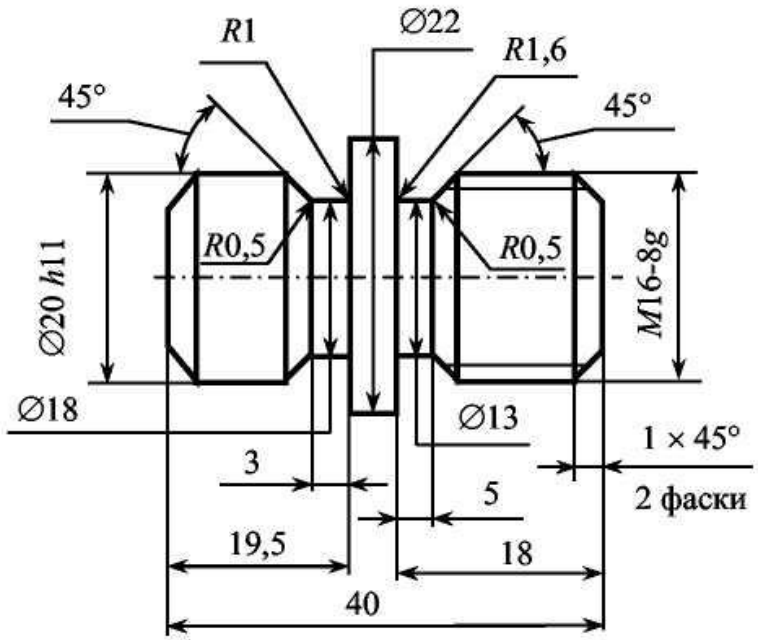
Указать наименование приспособления, охарактеризовать его назначение и область применения.

Вычертить схематический эскиз рабочих элементов приспособления.

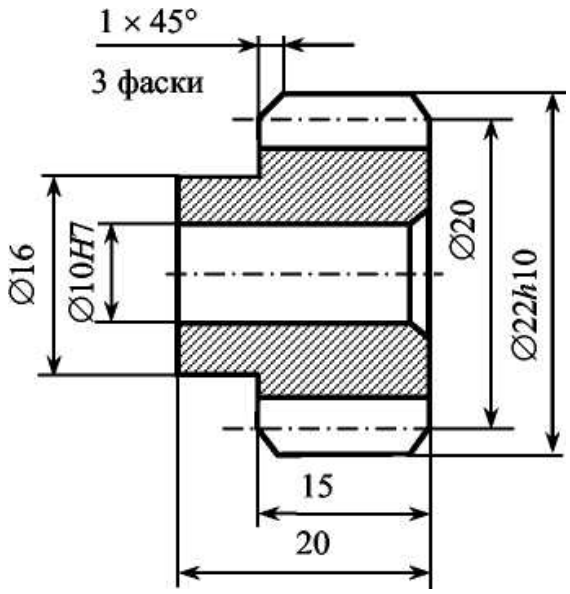
Описать устройство и работу приспособления с указанием применяемого станка, режущего инструмента.

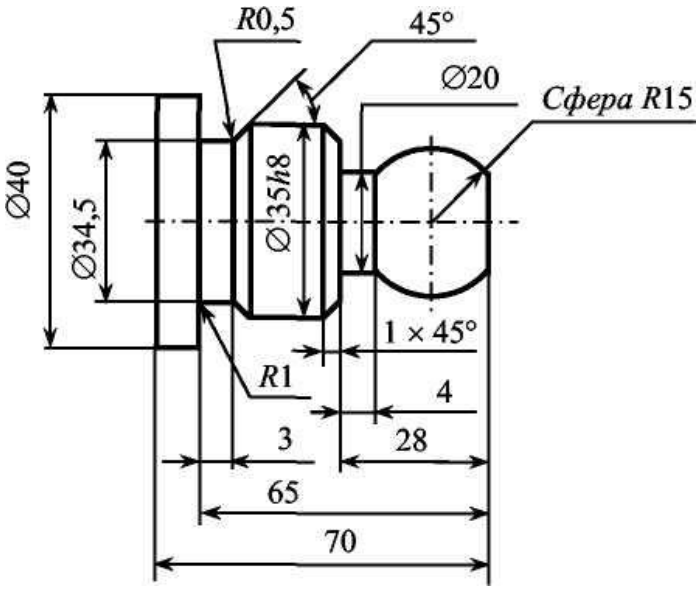
Содержание отчета

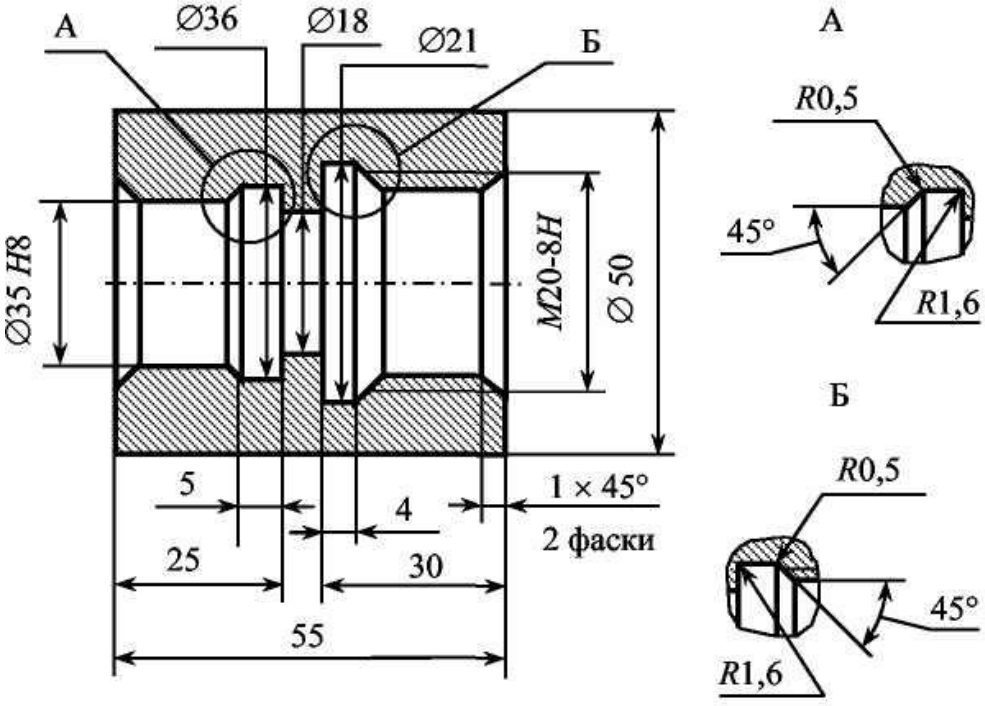
1. Отчет должен быть оформлен на листах формата А4.
2. В отчете должны быть приведены: цель работы, эскиз детали и приспособления, наименование, назначение и область применения приспособления, описание его устройства и работы. и деталей. Комплекты УСП стандартизованы, каждый комплект
3. Эскизы детали и приспособления должны быть выполнены в соответствии с правилами оформления технологического документа - карты эскизов КЭ **[13].**



Модуль, мм	1
Число зубьев	20




R0,5
45°
∅20
Сфера R15
∅40
∅34,5
∅35h8
1 × 45°
R1
4
3
28
65
70


А
∅36
∅18
∅21
Б
∅35 H8
M20-8H
∅ 50
5
4
1 × 45°
2 фаски
25
30
55

А
R0,5
45°
R1,6
Б
R0,5
45°
R1,6

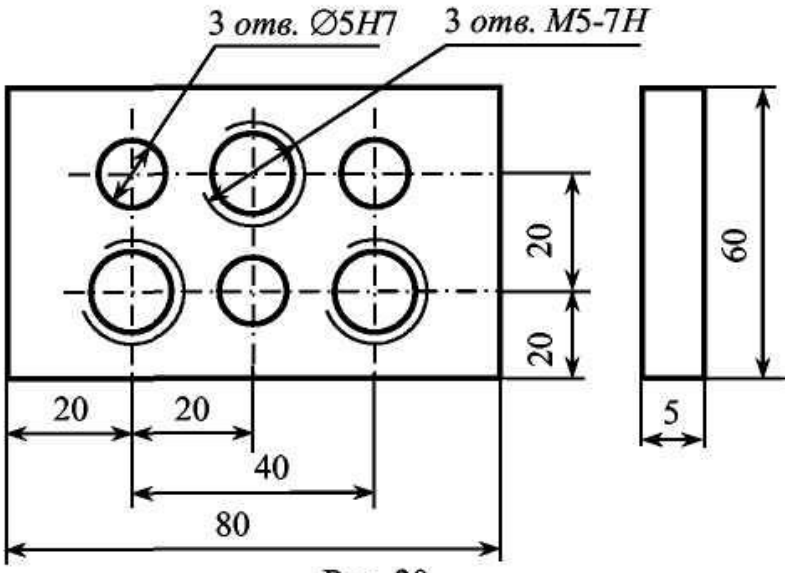
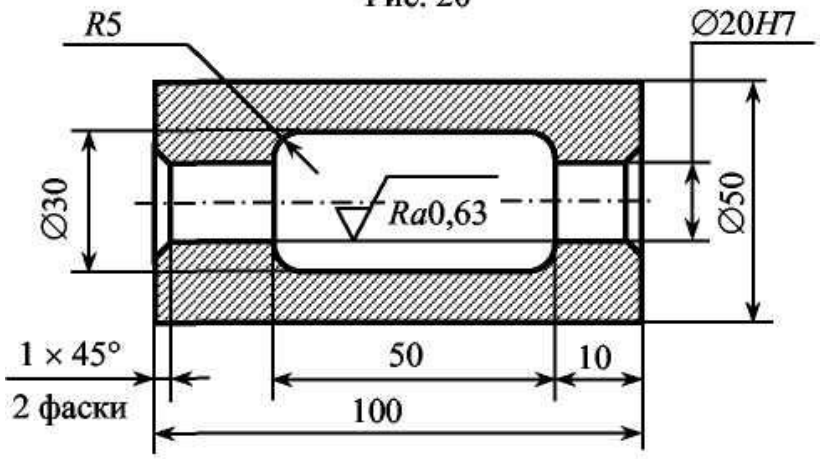
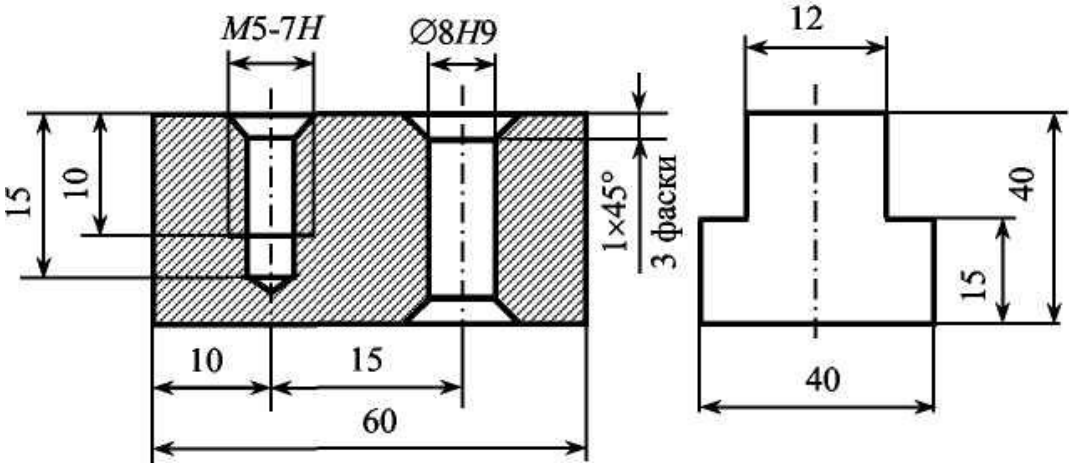
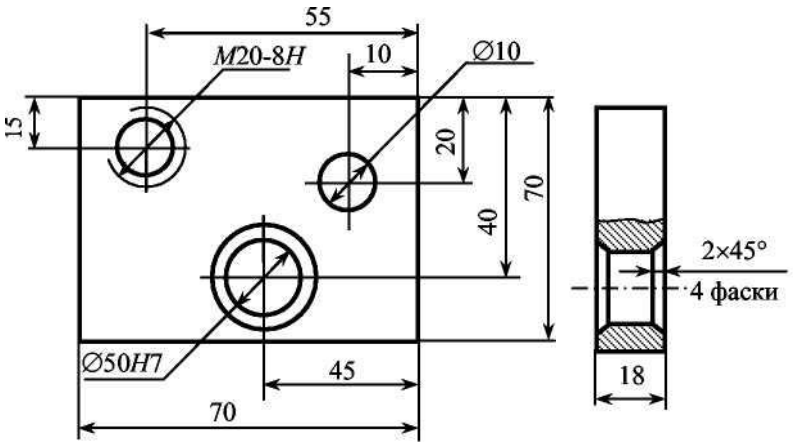
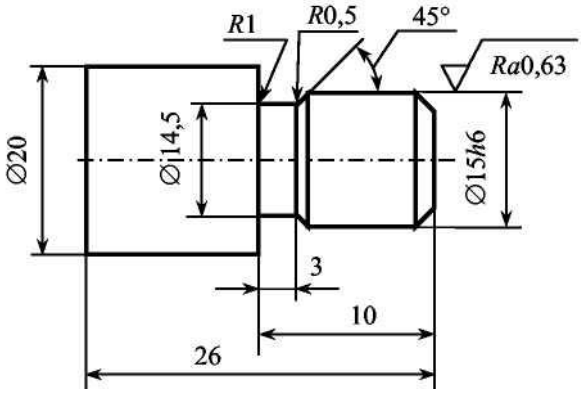

3 отв. ∅5H7
3 отв. M5-7H
20
20
60
20
20
40
80
5

Рис. 20


R5
∅20H7
∅30
Ra0,63
∅50
1 × 45°
2 фаски
50
10
100


M5-7H
∅8H9
12
15
10
1×45°
3 фаски
40
15
10
15
60
40


55
M20-8H
10
∅10
15
20
40
70
2×45°
4 фаски
∅50H7
45
70
18


R1
R0,5
45°
Ra0,63
∅20
∅14,5
∅15h6
3
10
26

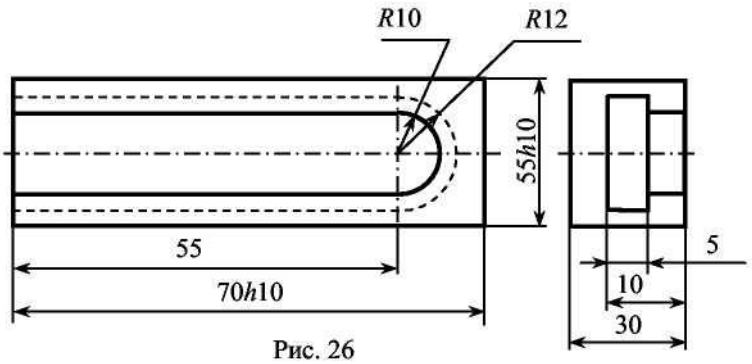

R10
R12
55h10
55
70h10
5
10
30

Рис. 26

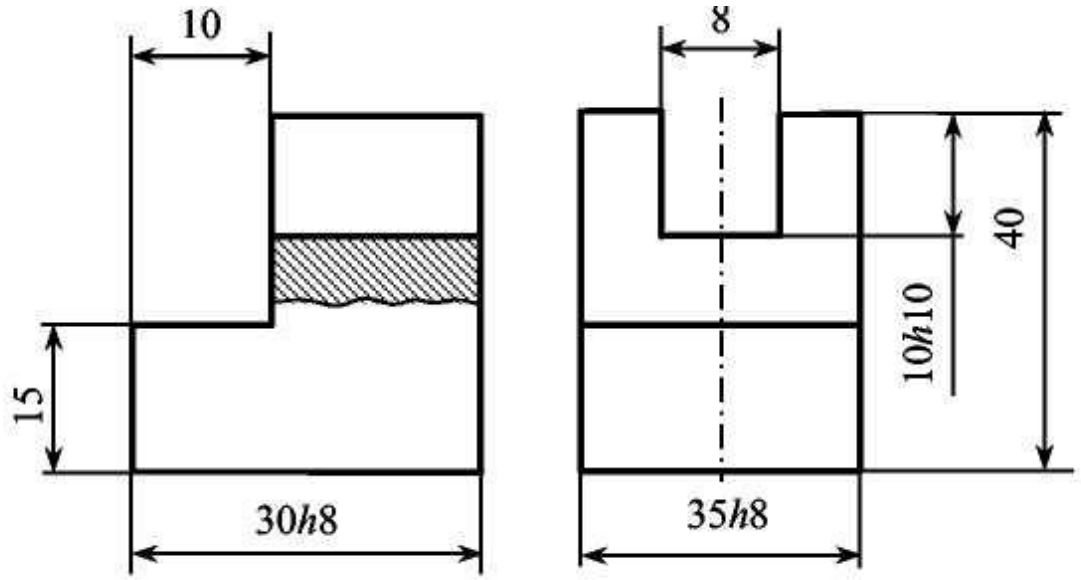

10
8
15
30h8
35h8
10h10
40

Рис. 27

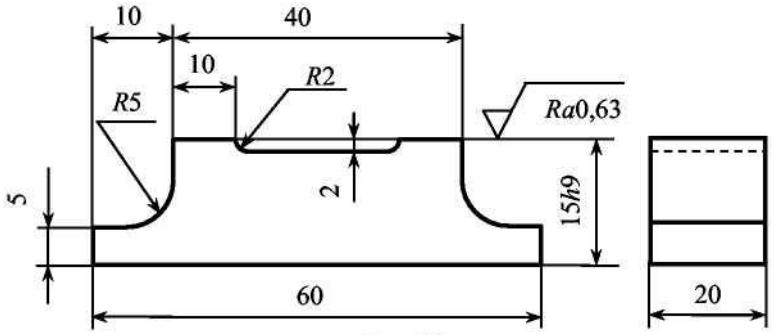
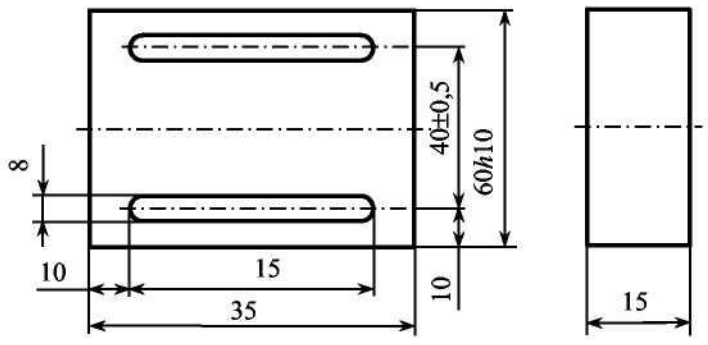
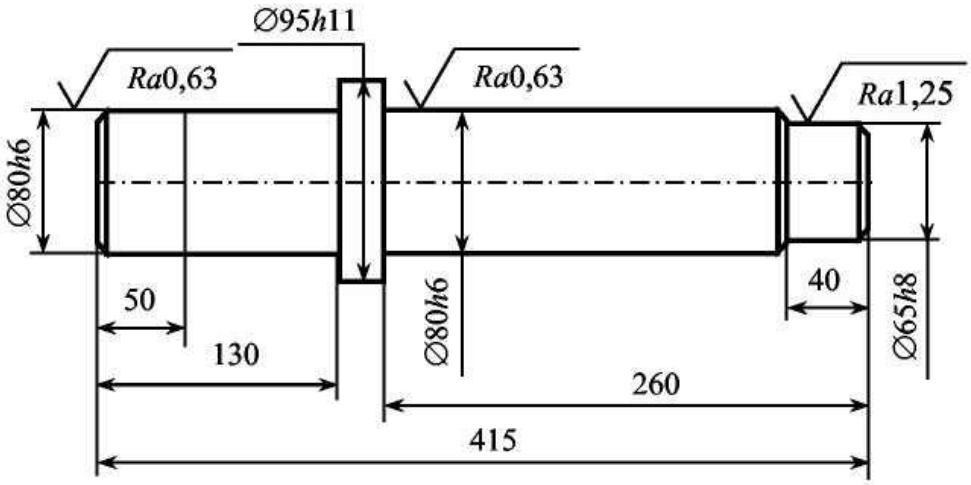
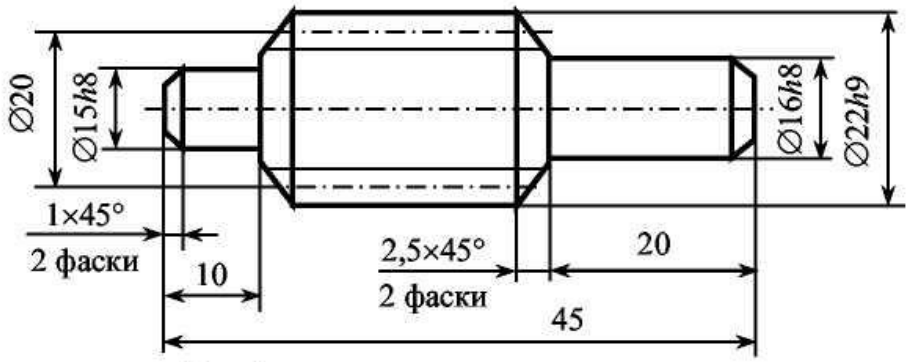

10
40
10
R2
R5
Ra0,63
5
2
15h9
60
20

Рис. 28


8
40±0,5
60h10
10
15
35
10
15





Модуль, мм	1
Число зубьев	20

Рис. 30

Контрольные вопросы

1. Что называется станочным приспособлением?

2. Каковы преимущества применения приспособлений в технологическом процессе?

3. Какие приспособления используются для токарных и круглошлифовальных станков?

4. Каков принцип действия универсального трехкулачкового спирально-реечного патрона?

5. В чем особенности конструкции скальчатых кондукторов?

6. Какие виды тисков применяются на фрезерных станках?

7. Какие виды приспособлений используются для фрезерных станков?

8. Каково устройство и принцип действия делительной головки?

РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕРЖИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: определение усилия зажима заготовки $P_З$.

Краткие теоретические сведения

Основными элементами приспособлений являются установочные, зажимные, направляющие, делительные (поворотные), крепежные детали, корпуса и механизированные приводы.

Их назначение следующее:

установочных элементов - определение положения обрабатываемой заготовки относительно приспособления и относительно режущего инструмента;

зажимных элементов - закрепление обрабатываемой заготовки;

направляющих элементов - осуществление требуемого направления движения инструмента;

делительных или поворотных элементов - точное изменение положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента;

крепежных элементов - соединение отдельных элементов между собой;

корпусов приспособлений (как базовых деталей) - размещение на них всех элементов приспособлений;

механизированных приводов - автоматическое закрепление обрабатываемой заготовки.

Установка заготовок в приспособлениях включает в себя их ба-

зирование и закрепление. Для точной обработки заготовок необходимо осуществлять ее правильное расположение в приспособлении по отношению к устройствам оборудования, определяющим траекторию движения инструмента или самой заготовки, обеспечивать постоянство контакта баз с опорными точками. Силы закрепления заготовки должны предотвращать возможный отрыв заготовок от установочных элементов приспособления, сдвиг или поворот ее под действием сил резания и обеспечить надежное закрепление в процессе обработки.

Силы резания и их моменты определяют по формулам теории резания или по данным нормативных справочников. Силы закрепления должны быть достаточными с некоторым коэффициентом запаса, который рассчитывают как произведение коэффициентов, учитывающих условия обработки.

При конструировании станочного приспособления необходимо произвести расчет усилия зажима $P_З$. Полученное значение $P_З$ используется при выполнении расчетов на прочность элементов зажимных устройств и силовых приводов. Величина усилия зажима определяется, исходя из значений сил резания, условий обработки и состояния поверхностей зажимных устройств.

Определение усилия зажима при точении в зависимости от схемы закрепления деталей в патроне и на оправке

1. Усилие зажима при обтачивании валика с закреплением в патроне (рис. 31)

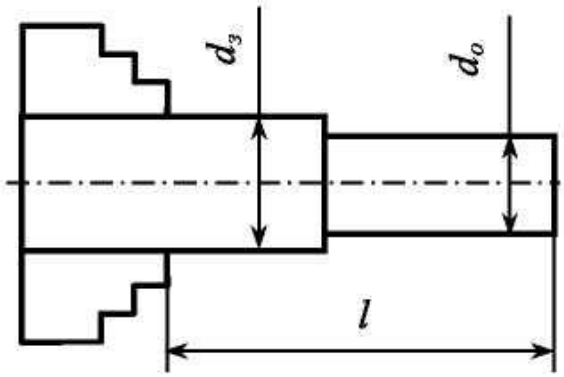


Рис. 31. Схема закрепления заготовки в патроне

При закреплении валика в патроне величина усилия зажима зависит от отношения $l/d_з$ и $dз/d_о$, где l - вылет заготовки - из патрона, $d_з$ - диаметр заготовки, $d_о$ - диметр обработанной поверхности. Чем больше отношение $l/d_з$ и $dз/d_о$, тем больше должно быть усилие зажима.

Составляющие силы резания сводятся к одной результирующей силе R, стремящейся сдвинуть заготовку вдоль оси и повернуть вокруг нее:

$$R = k\sqrt{P_z^2\left(\frac{d_з}{d_о}\right)^2 + P_x^2}$$

где P_x, P_z - составляющие силы резания вдоль осей x, z соответственно; k - коэффициент надежности закрепления, учитывающий влияние составляющей P_y, вылета заготовки из патрона, а также непрерывные изменения величины и направления действующих сил, выбирается из табл. 2.

Таблица 2

$l/d_з$	0,5	1,0	1,5	2,0
k	1,0	1,5	2,5	4,0

Усилие зажима на кулачки патрона $P_з$ равно:

где μ - коэффициент сцепления, зависящий от характера опорной поверхности (для гладких кулачков 0,25; для рифленых -0,3.… 0,5); z - количество кулачков.

2. Усилие зажима при обтачивании закрепленной на цанговой оправке (рис. 32) заготовки

Усилие зажима определяется следующим образом

$$P_з = \frac{k}{\mu}\sqrt{\left(\frac{2M_{рез}}{d_з}\right)^2 + P_x^{\,2} tg(\alpha+\varphi)},$$

где μ - коэффициент сцепления, равный 0,3….. 1; κ - коэффициент надежности, равный 1,2… 1,5; $M_{рез}$ - момент резания, равный P_z-r; r - расстояние от оси до точки приложения силы резания; a - половина угла при вершине конуса цанги; <p - угол трения в цанге

{$tg(p$ = 0,2); $d_з$ - зажимаемый диаметр заготовки.

3. Усилие зажима при обтачивании втулки, закрепленной на жесткой оправке с торцовым зажимом (рис. 33)

$$P_з = \frac{k}{\mu}\sqrt{\left(\frac{2M_{рез}}{d_з}\right)^2}$$

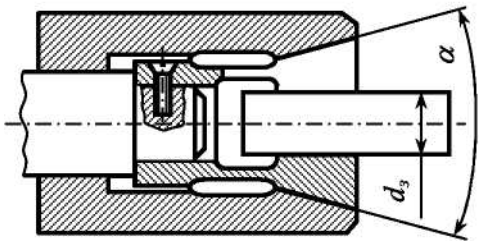


Рис. 32. Схема закрепления заготовки на цанговой оправке

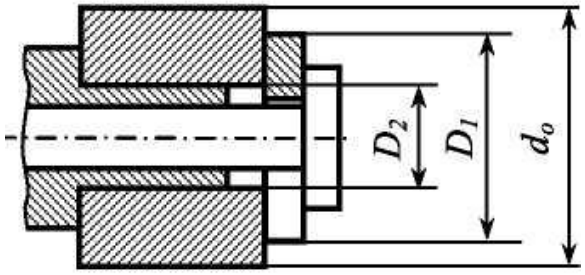


Рис. 33. Схема закрепления на цилиндрической оправке с торцовым зажимом

Усилие зажима определяется следующим образом

$$\frac{kP_z d_o}{(D_1 + D_2)\mu},$$

где μ - коэффициент сцепления, равный 0,1…0,15; k —коэффициент надежности,равный 1,5… 2,5; d_o - диаметр обрабатываемой поверхности; $D1$ - наружный диаметр торцовой шайбы; D_2 - диаметр оправки.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, Материалы

1. Токарно-винторезный станок 1616
2. Токарный трехкулачковый самоцентрирующий патрон.
3. Оправка цанговая.
4. Оправка цилиндрическая.
5. Измерительные инструменты: штангенциркуль ШЦ-125 (ГОСТ 166-89), микрометр МК (ГОСТ 6507-90).

Правила техники безопасности

1. Работать в лаборатории разрешается только после проведения инструктажа.

2. Выполнять только ту работу, которая поручена преподавателем. Не работать на оборудовании и оснастке, не изучив правил техники безопасности.

3. Приступая к выполнению работы, предварительно ознакомиться с устройством токарного станка.

4. По окончании работы навести порядок на рабочем месте.

Порядок выполнения работы

1. По заданным режимам резания (взятым из табл. 3 в соответствии с вариантом) определить значения составляющих усилия резания P_z, P_x, Py

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^{x_p} S^{y_p} v^{n_p} K_{\mu p},$$

где C_p - коэффициент; t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; v - скорость резания, равнаям/мин; $K_№$ - коэффициент (точение без охлаждения); n -частота вращения шпинделя, об/мин.

, $$v = \frac{\pi d_з n}{1000},$$

При продольном наружном точении заготовки из стали 45 с пределом прочности $\sigma_в$ = 750 МПа проходным резцом с углами γ = 15°, ф = 45°, $\lambda = 0°$

$P_x : P_y : P_z$ =1 : 0,45 : 0,35; C_p =300; x_p =1,0;

Таблица 3

Номер вари-анта	Схема за-крепления	dз, мм	do,мм	l, мм	S, мм/об	n, об/мин	α, град	D1, мм	D2,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Рис.9	38	35	25	0,07	315	—	—	—
2	Рис. 10	52	48	32	0,14	400	15	-	-
3	Рис.9	45	40	50	0,21	500	-	-	-
4	Рис. 11	60	58	46	0,28	630	-	25	50
5	Рис.9	75	70	28	0,07	500	-	-	-
6	Рис. 10	32	30	50	0,14	400	10	-	-
7	Рис.9	50	46	40	0,21	315	-	-	-
8	Рис. 11	80	75	65	0,28	400	-	32	56
9	Рис.9	65	60	55	0,07	500	-	-	-
10	Рис. 10	48	45	30	0,14	630	15	-	-
11	Рис.9	78	75	65	0,21	315	—	—	—
12	Рис. 11	86	82	42	0,28	400	-	28	52
13	Рис.9	36	34	46	0,07	500	-	-	-
14	Рис. 10	28	25	52	0,07	630	10	-	-
15	Рис.9	40	36	80	0,14	500	-	-	-
16	Рис.9	44	40	36	0,21	400	—	—	—
17	Рис. 10	36	34	46	0,28	315	15	-	-
18	Рис.9	60	55	50	0,21	400	-	-	-
19	Рис. 11	55	54	36	0,07	500	-	20	40
20	Рис.9	72	68	80	0,14	630	-	-	-
21	Рис. 10	36	32	50	0,21	315	10	—	—
22	Рис.9	46	44	75	0,28	400	-	-	-
23	Рис. 11	86	82	46	0,07	500	-	32	60
24	Рис.9	54	52	40	0,14	630	-	-	-
25	Рис. 10	38	35	50	0,21	500	10	-	-
26	Рис. 11	80	76	62	0,28	630	—	26	52
27	Рис.9	36	34	56	0,07	315	-	-	-
28	Рис. 10	42	40	68	0,14	400	15	-	-
29	Рис. 11	75	70	60	0,21	500	-	28	56
30	Рис.9	40	38	65	0,28	630	-	-	-

$$y_{P_z}=0{,}754;\ n_{P_z}=-0{,}15;\ K_{\mu P_z}=\left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^{n_{P_z}}=\left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^{n_{P_z}},\ \text{где } n=0{,}75.$$

2. Для заданной схемы закрепления заготовки определить усилие зажима.

Результаты вычислений занести в табл. 4.

d_3, мм	d_o, мм	l, мм	v, м/мин	S, мм/об	t, мм	P_z, Н	P_x, Н	R, Н	P_3, Н

Содержание отчета

1. Сведения о зажимных устройствах.

2. Схема закрепления с указанием вылета заготовки, диаметра заготовки и диаметра обработанной поверхности.

3. Расчет усилий резания и результирующего усилия.

4. Определение усилия зажима для заданных режимов обработки.

Контрольные вопросы

1. Как различаются станочные приспособления по назначению?

2. Какие приспособления используются для токарных станков?

3. Какие элементы входят в состав в зажимного устройства?

4. Какие исходные данные необходимо знать для расчета усилия зажима?

5. Каковы факторы, влияющие на величину усилия зажима?

РАБОТА № 4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ТИСКАХ, ПАТРОНЕ

Цель работы: определение погрешности закрепления заготовки в тисках и трехкулачковом патроне.

Краткие теоретические сведения

В результате возникновения случайных погрешностей при обработке партии заготовок на настроенном станке истинный размер каждой заготовки является случайной величиной и подчиняется закону распределения случайной величины - закону нормального распределения (Гаусса).

Рассеяние размеров обрабатываемых заготовок вызывается многочисленными случайными факторами различного характера, оказывающими свое воздействие одновременно и независимо друг от друга. В числе таких факторов: вид обработки; погрешность установки заготовки в приспособлении; погрешность настройки станка.

Погрешность установки заготовки складывается из погрешности базирования $\omega_б$, закрепления $\omega_з$ и приспособления $\omega_{пр}$.

Погрешность базирования в ряде случаев связана с несовпадением измерительной и технологической баз или вызвана особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособления (рис. 35). Погрешность базирования определяется как разность предельных расстояний измерительной базы заготовки относительно установленного на размер инструмента. Выражения для расчета погрешности базирования при различной форме базирующих поверхностей заготовок и установочных элементов

приспособлений приведены в справочной литературе.

Погрешность закрепления возникает при закреплении заготовки в приспособлении, при этом во многих случаях происходит перемещение заготовки (выжимание из приспособления) и появление зазора между базирующей поверхностью заготовки и соответствующей установочной поверхностью приспособления (рис. 36). Изменение перемещения заготовки при ее закреплении в приспособлении в большинстве случаев определяется экспериментальным путем.

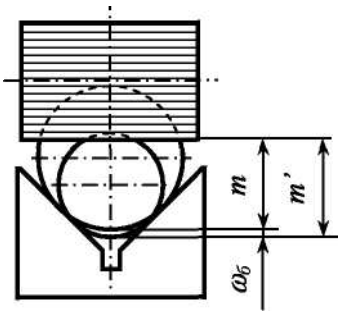


Рис. 35. Возникновение погрешности базирования

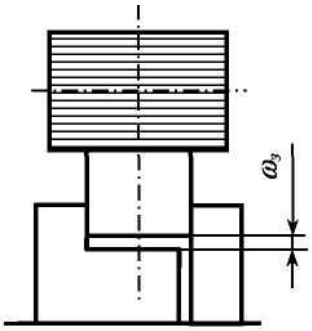


Рис. 36. Погрешность закрепления

Погрешность приспособления зависит от погрешности изготовления и сборки приспособления, его износа и неточности установки на станке.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы

1. Тиски станочные, подкладки.
2. Патрон трехкулачковый.
3. Станок вертикально-фрезерный.
4. Станок токарно-винторезный.
5. Образцы деталей.
6. Измерительные инструменты: индикаторная головка со стойкой, штангенциркуль.

Правила техники безопасности

1. Работать в лаборатории разрешается только после проведения инструктажа. Не работать на оборудовании и оснастке, не изучив правил техники безопасности.

2. Выполнять только ту работу, которая поручена преподавателем.

3. Перед началом работы на металлорежущих станках необходимо: привести в порядок рабочую одежду - застегнуть обшлага рукавов; заправить концы одежды так, чтобы не было развевающихся концов; волосы убрать под головной убор; привести в порядок рабочее место, убрать все лишнее со станка, осмотреть и подготовить для работы режущий, измерительный, крепежный инструмент и приспособления; предварительно ознакомиться с устройством станка по его описанию, после чего проверить ис-

правность станка на холостом ходу.

4. Во время работы на металлорежущих станках необходимо: перед включением станка убедиться, что его пуск никому не угрожает опасностью; применять указанные в операционной карте режимы резания.

5. Во время работы категорически запрещается снимать и открывать ограждения и предохранительные устройства станка.

6. По окончании работы навести порядок на рабочем месте.

Порядок выполнения работы

1. Установить станочные тиски и индикаторную стойку на столе вертикально-фрезерного станка (рис. 37).

2. Установить заготовку 2 в тиски на подкладку 3 и рукой прижать к неподвижной губке 1 тисков. В этом положении индикатору 5 дать натяг и установить его стрелку на нуль.

3. Многократно закрепить и раскрепить заготовку в тисках, перемещая подвижную губку 4 тисков и фиксируя каждый раз показания индикатора, при этом применять следующие способы установки и закрепления заготовки:

- заготовка свободно кладется на подкладку тисков и зажимается от руки с произвольным усилием зажима;

- заготовка свободно кладется на подкладку тисков, после чего производится легкое предварительное зажатие тисков; затем легким постукиванием молотка по заготовке плотно прижимают ее к подкладке и производят проверку плотности прилегания заготовки путем по-

пытки вынуть прокладку из-под нее; если подкладка плотно прижата

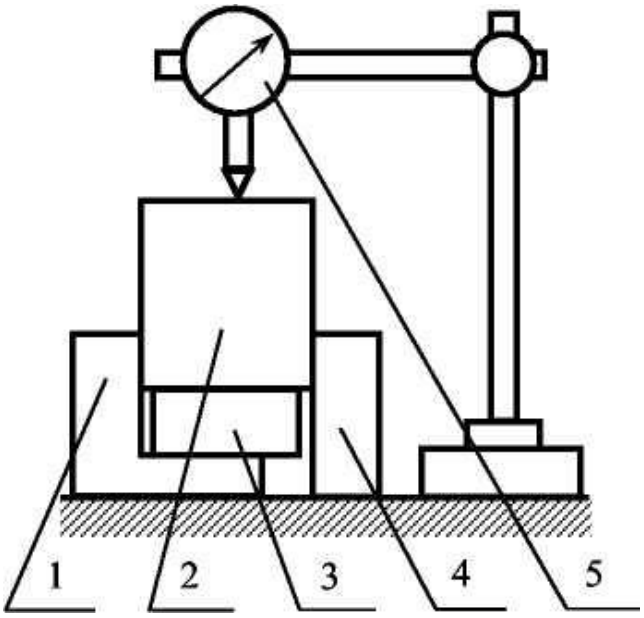


Рис. 37. Схема установки заготовки в тисках

заготовкой, то производится окончательный зажим тисков. Каждый способ установки повторить 25 … 30 раз. Обработать результаты замеров, сгруппировав их в восьми - десяти интервалах и определяя среднее взвешенное арифметическое значение действительных размеров погрешности закрепления, равное $\omega_{з.ср} = 1 \sum \omega_з.im_i$, и σ- среднее квадратическое отклонение, равное $a = Л—J^{ct)_{3l}}$-,-$(o_{3cp}jm_t$, где /и, - частота (т.е. количество величин погрешности данного интервала размеров); n - количество всех измерений. Все полученные результаты занести в табл. 6. Построить график осевых смещений для различных способов установки и закрепления заготовки.

4. Установить на шпинделе токарно-винторезного станка трехкулачковый патрон.

Таблица 6

Способ установки и закрепления заготовки	Интервал,м	Частота тг	Частость m/n	Среднее арифметическое значение ωср, мм	Среднее квадратическое отклонение σ, мм

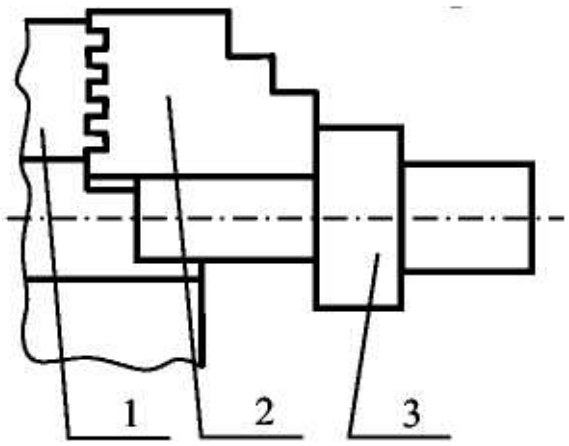


Рис. 38. Схема установки заготовки в трехкулачковом патроне

5. Установить обрабатываемую заготовку 3 в патрон 1 и, не закрепляя ее плотно, прижать буртиком к торцевым поверхностям кулачков 2 (рис. 38). В этом положении подвести суппорт с укрепленным в державке резцедержателя индикатором, измерительный наконечник которого должен касаться торца закрепляемой заготовки по линии центров с натягом 1 …. 2 мм; после чего закрепить суппорт и установить стрелку индикатора на нуль.

6. Многократно закрепляя заготовку (25…30 раз), при каждой ее повторной установке записывать показания индикатора, фиксирующего действительную величину погрешности $\omega_з$.

7. Обработать результаты замеров (см. п. 4), занести полученные

данные в табл. 7. и построить график осевых смещений.

Таблица 7

Интервал, мм	Частота	Частость m/n	Среднее арифметическое значение $\omega_{ср}$, мм	Среднее квадратическое отклонение σ, мм

Содержание отчета

1. Сведения об используемых приспособлениях и измерительных средствах (наименование, цена деления).
2. Эскизы схем установки заготовок с простановкой размеров.
3. Заполненные табл. 6 и 7.
4. Построенные графики осевых смещений.

Контрольные вопросы

1.Какие факторы влияют на точность обработки партии заготовок?

2. Из каких составляющих складывается погрешность установки заготовки в приспособлении?

3. Чем вызвана погрешность базирования заготовок?

4. Вследствие чего возникает погрешность закрепления заготовок?

5. Чем обусловлено возникновение погрешности приспособления?

РАБОТА № 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЕЗНАЛАДОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Универсальные безналадочные приспособления (УБП) применяются в единичном и серийном типе производства для установки и закрепления обрабатываемой заготовки с различной формой и различными габаритами. К ним относятся универсальные патроны, тиски, поворотные столы и т. д.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Изучить конструкцию 4-х кулачкового патрона (привести схему и дать описание его работы).

1. Изучить конструкцию 3-х кулачкового самоцентрирующего патрона (**привести схему патрона и дать описание его работы**).
2. Изучить конструкции 2-х типов люнетов (подвижного и неподвижного) и **дать их схемы и способ монтажа на станке**.
3. Изучить конструкции поводковых устройств, используемых на токарных и шлифовальных станках (**привести схемы**).
4. Изучить конструкции патронов, используемых для крепления сверл на сверлильных и токарных станках (**привести схемы**).
5. Изучить конструкции машинных тисков (**привести схему работы**).
6. Рассчитать усилие зажима в тисках при сверлении сквозного отверстия заданного диаметра.
7. Рассчитать усилие зажима в тисках при фрезеровании заданной поверхности

В ответах должны быть приведены ***эскизы, поясняющие работу*** универсального безналадочного приспособления.

Таблица 2

Варианты заданий

Вариант	Диаметр детали, мм	Ширина фрезерования и глубина резания, мм	Диаметр отверстия, мм	Материал
1	30	10/2	10	Ст 40
2	40	10/3	20	Ст 35
3	50	15/4	10	Ст 45
4	60	15/5	10	Сталь 40ХНМА
5	70	20/5	20	Сталь 30ХГС,
6	80	20/10	30	Ст 40
7	90	50/1	12	Ст 40Х
8	100	40/10	15	Ст 40 Х
9	90	15/1	25	Ст 45Х
10	80	30/5	20	Ст 45Х
11	70	40/10	5	Ст 40Х
12	60	12/1	10	Ст 5

ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ИСХОДНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗАЖИМНОГО УСИЛИЯ

Величину необходимого зажимного усилия W, как правило, определяют на основе решения задачи статики, рассматривая равновесие детали под действием приложенных к ней сил и моментов. предварительно необходимо составить расчетную схему, т.е. изобразить на схеме установки заготовки все силы, действующие на заготовку: силы и моменты резания, зажимные усилия, реакции опор и силы трения в местах контакта заготовки с установочными элементами и зажимными устройствами. Расчетную схему следует составлять для наиболее неблагоприятного варианта местоположения режущего

инструмента по длине обрабатываемой поверхности, когда для удержания заготовки от перемещения или поворота под действием сил и моментов резания требуется приложить наибольшее зажимное усилие.

Пользуясь расчетной схемой, следует установить направление возможного перемещения или поворота заготовок под действием сил и моментов резания, определить величину проекций всех сил на направление перемещения и составить уравнение сил и моментов.

В случае использования принципа возможных перемещений [1] составить уравнения элементарных работ в направлении перемещения заготовка, т.е. $\Sigma \delta A = 0$.

Так как в производственных условиях всегда возможны отступления от тех условий применительно в которым рассчитывались по нормативам силы и моменты резания, то возможны отклонения величин сил и моментов резания от расчетных. В большинстве случаев будет иметь место увеличение сил и моментов резания их, величин, рассчитанных или взятых из таблиц нормативов по режимам резания. Поэтому возможное увеличение сил и моментов резания следует учесть введением коэффициента надежности закрепления (K) путем умножения на него сил и моментов резания, входящих в составленные уравнения статики или динамики.

На основании решения уравнения получают формулы для расчета зажимного усилия W, обеспечивающего надежное закрепление заготовки. Сказанное проиллюстрируем примерами.

Пример 1.

На операции фрезерования плоскости (рис. 3, *а*) при принятом методе установки и схеме закрепления заготовки под действием сил резания может только поворачиваться относительно точки *О*.

Из условия равновесия заготовки (рис.3, *а*) уравнение моментов будет $$W \cdot a + F \cdot l = P_z \cdot b + P_V \cdot l$$

После подстановки значения $F = f \cdot W$ и введения коэффициента надежности *K* уравнение примет вид

$$W \cdot a + f \cdot W \cdot l = K(P_z \cdot b + P_V \cdot l),$$

откуда

$$W = \frac{K(P_z \cdot b + P_V \cdot l)}{a + f \cdot l},$$

где *f* – коэффициент трения между заготовкой и зажимными устройствами. Обозначения остальных величин даны на рис. 3, *а*.

Используя принципы возможных перемещений, исходное уравнение для нахождения зажимной силы *W* (по примеру 1) будет иметь вид:

$$Mp_z \cdot \delta\varphi + Mp_V \cdot \delta\varphi + M_W \cdot \delta\varphi + M_F \cdot \delta\varphi = 0,$$

или $$Mp_Z + Mp_V + M_W + M_F = 0.$$

Раскрывая значение моментов (взятых относительно т. *О*) и силы трения и вводя коэффициент надежности *K*, уравнение примет вид

$$W \cdot a + W \cdot l \cdot f = K(P_Z \cdot b + P_V \cdot l).$$

откуда

$$W = \frac{K(P_Z \cdot b + P_V \cdot l)}{a + f \cdot l},$$

т.е. получили то же самое значение.

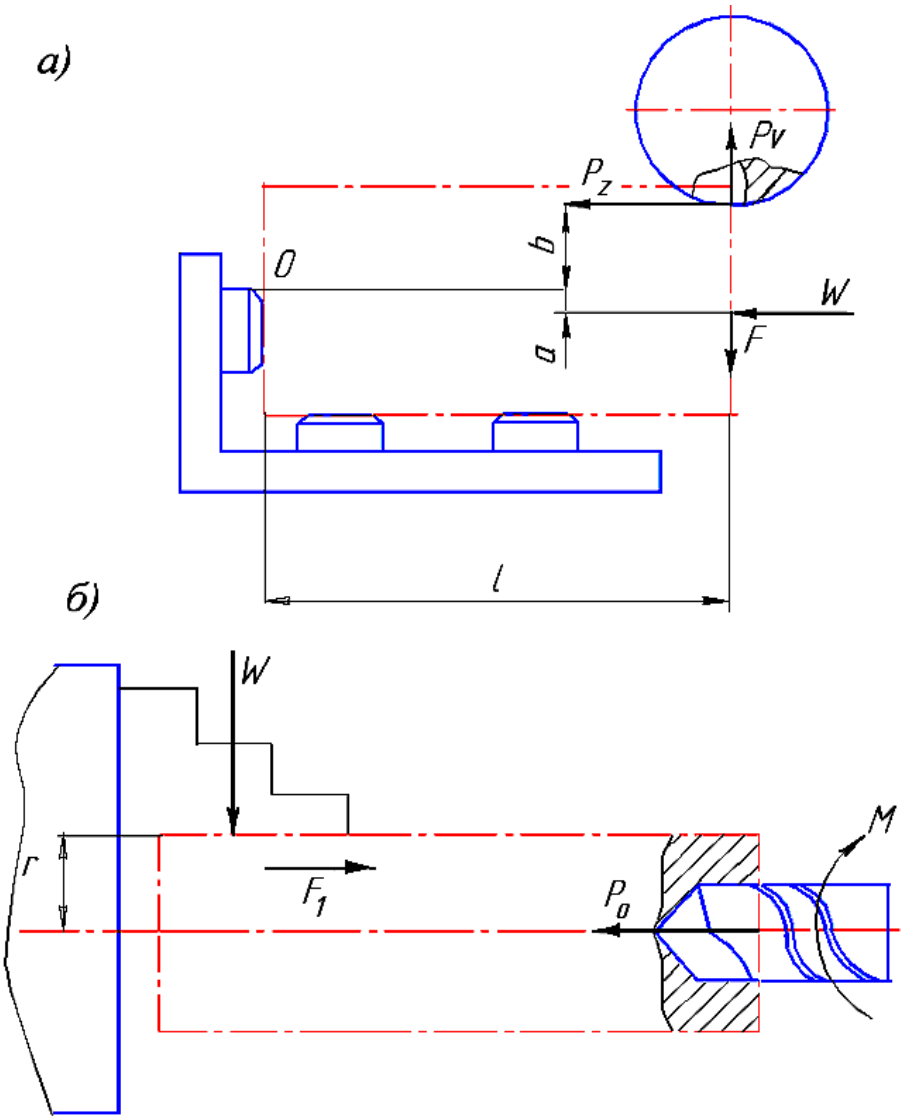


Рис. 3. Расчетные схемы

Пример 2.

При сверлении отверстия в заготовке, закрепленной в трехкулачковом патроне (рис. 3, *б*), она может перемещаться вдоль кулачков

под действием силы резания $\boldsymbol{P_0}$ (усилие подачи) и провертываться в кулачках под действием момента резания $\boldsymbol{M}$.

Необходимо приложить такое зажимное усилие, чтобы не было ни перемещения, ни провертывания детали относительно кулачков. В зависимости от формы насечки на кулачках, сопротивление перемещению и провертыванию может быть различным, так как при этом могут быть различными коэффициенты трения.

Допустим, что при перемещении заготовки в кулачках вдоль её оси коэффициент трения будет f_1, а при провертывании f_2. Тогда силы трения между кулачком и заготовкой будут составлять

при перемещении $F_1 = f_1 \cdot W$,

при провертывании $F_2 = f_2 \cdot W$.

Определим величину зажимного усилия при условии недопустимости перемещения заготовок в кулачках. Пользуясь принятыми обозначениями (рис. 3, *б*) и имея в виду, что у патрона три кулачка, составим уравнение сил: $3F_1 = P_0$.

После подстановки значения F_1 и введения коэффициента K уравнение примет вид $3f_1W = KP_0$

откуда

$$W = \frac{K \cdot P_0}{3 \cdot f_1} \text{ (на один кулачок).}$$

Теперь определим величину зажимного усилия при условии недопустимости провертывания заготовки в кулачках.

Так как заготовка зажата в трех кулачках, уравнение моментов будет иметь следующий вид: $3F_2 \cdot r = M$,

где M – момент сил резания;

F_2 – сила трения между кулачком и деталью при провертывании последней;

r – радиус наружной цилиндрической поверхности детали на участке закрепления её в кулачках.

После подстановки значения F_2 и введения коэффициента $\boldsymbol{K}$ уравнение примет вид

$$3F_2 \cdot r = 3 f_2 \cdot W \cdot r = K \cdot M ,$$

откуда

$$W = \frac{KM}{3 f_2 \cdot r} \text{ (на 1 кулачок).}$$

После подстановки численных данных в конечные формулы по примеру 2 получим два значения величины зажимного усилия $\boldsymbol{W}$. В качестве расчетного следует брать максимальное значение.

В примере 2 принцип возможных перемещений дает исходные уравнения из условия перемещения заготовки:

$$F_1 \cdot \delta S + P_0 \cdot \delta S = 0 \text{ или } F_1 + P_0 = 0,$$

при провертывании заготовки

$$M_{F2} \cdot \delta\varphi + M\delta\varphi = 0 \text{ или } M_{F2} + M = 0.$$

Раскрывая значение сил и моментов трения и вводя коэффициент надежности K, получим:

$$W \cdot f_1 = K \cdot P_0 \text{, откуда } W = \frac{KP_0}{f_1} \text{ (на 3 кулачка),}$$

$$W \cdot f_2 = K \cdot M \text{ , откуда } W = \frac{KM}{f_2 r} \text{ (на 3 кулачка)}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НАДЕЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ "*К*" И ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

Таблица 3

Значения коэффициента трения

Характеристика контактируемых поверхностей	Значение f
А. Контактируемая пара деталь – установочный элемент. Обработанная поверхность заготовки контактирует с плоскостью опорных пластин, с плоскостью магнитной плиты и т.п.	0,10 – 0,15
Обработанная поверхность детали контактирует с установочным элементом по линии (установка на призму) или сфере (установка на опорный штырь со сферической головкой)	0,18 – 0,3
Необработанная поверхность детали контактирует с закаленным насеченным элементом (установка на опорные штыри с насеченной головкой)	0,5 – 0,8
Б. Контактируемая пара зажимной элемент-деталь. Контактный элемент с плоской контактной поверхностью при закреплении соприкасается с плоской обработанной поверхностью детали	0,1 – 0,15
Контактный элемент при закреплении соприкасается с цилиндрической поверхностью детали (при установке в кулачках, в цанге и т.п.):	
при гладкой поверхности контактного элемента	0,25
поверхность контактного элемента имеет кольцевые канавки	0,35
поверхность контактного элемента имеет крестообразные канавки	0,45
Контактный элемент, имевший кольцевые канавки соприкасается с необработанной поверхностью детали	0,4 – 0,5
Контактный элемент, имеющий насечку на контактной поверхности, соприкасается с необработанной поверхностью детали	0,5 – 0,8

Значение коэффициента надежности закрепления ***К***, введенного в уравнения, следует выбирать дифференцированно в зависимости от конкретных условий выполнения операции и способа закрепления заготовка. Величину коэффициента ***К*** можно представить как произведение первичных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора **[2].** Следовательно,

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \ .$$

Коэффициент K_0, представляющий собой гарантированный коэффициент запаса надежности закрепления, для всех случаев следует брать равным 1,5.

Таблица 4

Значения коэффициента K_2

Способы обработки	Компонент сил резания	Значение	Обрабатываемый материал
Сверление	Крутящий момент Осевая сила	1,15 1,10	Чугун
Предварительное зенкерование	Крутящий момент Осевая сила	1,3 1,2	Чугун при износе по заданной поверхности 1,5мм
Предварительное точение	Тангенциальная сила Радиальная сила Сила подачи	1,0 1,4 1,2 1,6 1,25	Сталь и чугун Сталь Чугун Сталь Чугун
Цилиндрическое предварительное и чистовое фрезерование	Окружная сила	1,75 –1,90 1,2 – 1,4	Вязкие стали Твердые стали и чугуны
Торцевое предварительное и чистовое фрезерование	Окружная сила	1,75 –1,90 1,2 – 1,4	Вязкие стали Твердые стали и чугуны

Коэффициент K_1, учитывает увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовках. Для черновой обработки K_1 = 1,2, для чистовой K_1 = 1,0.

Коэффициент K_2 учитывает увеличение силы резания вследствие затупления инструмента. Значения K_2 приведены в табл. 4, а значение остальных коэффициентов в табл. 5.

Приведенные значения коэффициентов $K_0 – K_6$ позволяют определить величину K для проектируемого приспособления с учетом

конкретных условий выполнения операций.

Таблица 5

Значения коэффициентов K_3, K_4, K_5 и K_6

Обозначение коэффициента	Фактор, учитываемый введением коэффициента	Значение коэффициента	
K_3	Увеличение силы резания при прерывистом резании	1,2	- при точении
K_4	Непостоянство зажимного усилия	1,3 1,0	- для ручных зажимных устройств; - для пневматических и гидравлических устройств
K_5	Степень удобства расположения рукояток в ручных зажимных устройствах	1,0 1,2	- при удобном расположении и малой длине рукоятки; - при диапазоне угла отклонений рукоятки 90°
K_6	Неопределенность из–за неисправностей места контакта детали с установочными элементами, имеющими большую установочную поверхность	1,0	- для установочного элемента, имеющего ограниченную поверхность контакта с деталью
	Учитывая только при наличии момента, стремящегося повернуть деталь	1,5	- для установочного элемента

Сверление [3]

При сверлении глубина резания t – 0,5D.

Подача. При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 2.6).

Скорость резания. Скорость резания, м/мин, при сверлении

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v .$$

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в (табл. 6), а значения периода стойкости T – (в табл. 2.30).

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{мv} K_{иv} K_{lv}.$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1.7); $K_{ПV}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл.1.9); $K_{ИV}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл.1.8).

Крутящий момент, Н·м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

При сверлении:

$$M_{кр} = 10 C_м D^q S^y K_р; \quad P_о = 10 C_р D^q S^y K_р.$$

Значения коэффициентов $C_м$ и $C_р$, и показателей степени приведены в (табл. 7).

Таблица 6

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал:	Материал режущей части инструмента	Подача S, мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в$ = 750 МПа	Р6М5	≤0,2 >0,2	7,0 9,8	0,40	0,70 0,50	0,20	Есть
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т, *НВ* 141		–	3,5	0,50	0,45	0,12	
Чугун серый, *НВ* 190		≤0,3 >0,3	14,7 17,1	0,25	0,55 0,40	0,12 5	Нет
	ВК8	–	34,2	0,45	0,30	0,20	

Примечание: Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке, При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{3v} = 0{,}75$.

Таблица 7

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
		Крутящего момента				Осевой силы			
		C_M	q	x	y	C_p	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь $\sigma_в = 750$ МПа	Быстрорежущая сталь	0,034	2,0	–	0,8	68	1,0	–	0,7
Серый чугун *НВ* 190	Твёрдый сплав	0,012	2,2	–	0,8	42	1,2	–	0,75
	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	42,7	1,0	–	0,8
Ковкий чугун *НВ*150	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
	Твёрдый сплав	0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75

Примечание: Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для свёрл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза.

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением

$$K_p = K_{мр}$$

Значения коэффициента $K_{мр}$ приведены для стали и чугуна в (табл. 8).

Таблица 8

Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени ***n*** при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеровании	Окружной силы резания Pz при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$ МПа: ≤600 >600	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	0,75/0,35 0,75	0,75/0,75 0,75/0,75	0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание: В числителе приведены значения показателя степени ***n*** для твердого сплава, в знаменателе для быстрорежущей стали.

Фрезерование[3]

Глубина фрезерования *t* и ширина фрезерования *B* – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании.

Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, *t* определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; *t* измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования *B* определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в реза-

нии; B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб S_z, подачу на один оборот фрезы S и подачу минутную $S_м$, мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$S_м = S\, n\ = s_z\, z\, n,$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб S_Z. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл.,2.28.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v .$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в (табл. П2.2.3), а периода стойкости T – в (табл. 2.30).

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания:

$$K_v = K_{мv} K_{пv} K_{иv},$$

где $K_{мv}$ – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1.7); $K_{пv}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 1.9); $K_{иv}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 1.8).

Таблица 8

Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеровании	Окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$ МПа: ≤600 >600	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	 0,75/0,35 0,75	 0,75/0,75 0,75/0,75	 0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание: В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе для быстрорежущей стали.

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании – окружная сила, Н

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B_z^u}{D^q n^w} K_{мр},$$

где z – число зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в (табл. 9), поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала $K_{мр}$ для стали и чугуна – в (табл. 8). Величины остальных составляющих силы резания: горизонтальной (сила подачи) P_h, вертикальной P_v, радиальной P_y, осевой P_x устанавливают из соотноше-

ния с главной составляющей P_z .

Таблица 9

Значения коэффициента C_P и показателей степени в формуле окружной силы P_Z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_P	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа							
Торцовые	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	825 82,5	1,0 0,95	0,75 0,8	1,1 1,1	1,3 1,1	0,2 0
Цилиндрические	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	101 68,2	0,88 0,86	0,75 0,72	1,0 1.0	0,87 0,86	0 0
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	261 68,2	0,9 0,86	0,8 0,72	1,1 1,0	1,1 0,86	0,1 0
Концевые	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	12,5 68,2	0,85 0,86	0,75 0,72	1,0 1,0	0,73 0,86	–0,13 0

Примечание: Окружная сила P_z, рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_в$ < 600 МПа) в 1,75 – 1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,2 – 1,4 раза.

(Форма отчета для лабораторных работ № 2)

Студент _____ Группа _____

Отчет по лабораторной работе №2.

Изучение конструкций универсальных безналадочных приспособлений

Схемы приспособлений (эскизы) и описание работы

Режим резания (расчет)

Расчет усилия зажима в тисках при сверлении сквозного отверстия заданного диаметра d =

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики: Для вузов. – 4 – изд. – М.: Наука, 1966. – 478 с.
2. *Корсаков В. С.* Основы конструирования приспособлений. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1965. – 367 с.
3. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

(Часть 1) для студентов профилизации «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 112 с.

4. *Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 1* /Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. М.:Машиностроение-1, 2001. -912 с.
5. *Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2* / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. - М.:Машиностроение-1, 2001. - 944 с.

РАБОТА № 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 3-Х КУЛАЧКОВОГО ПАТРОНА ПО ТОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

ХОД РАБОТЫ

1. Установить кулачки патрона ключом на размер, превышающий посадочный диаметр эталонной детали на 0,5 … 1 мм.
2. Установить эталонную деталь в кулачки и подвести наконечник индикатора **к торцу** буртика (обеспечив **натяг 1 – 2** мм).
3. Прижать пальцем буртик эталонной детали к кулачкам и зафиксировать показания индикатора.
4. Закрепить ключом эталонную деталь в патроне и зафиксировать показание индикатора.
5. Подвести наконечник индикатора к цилиндрической части буртика (обеспечив **натяг 1 – 2** мм).
6. Повернуть деталь с патроном на угол > 360° и зафиксировать **торцовое биение буртика** детали по индикатору (абсолютная величина смещения стрелки индикатора).
7. Установить кулачки патрона ключом на размер, превышающий посадочный диаметр эталонной детали на 0,5 … 1 мм.
8. Повернуть деталь в кулачках на любой угол.
9. Повторить выполнение пунктов с 3 по 7-й ***25 раз(!)***.
10. Результаты занести в таблицу.

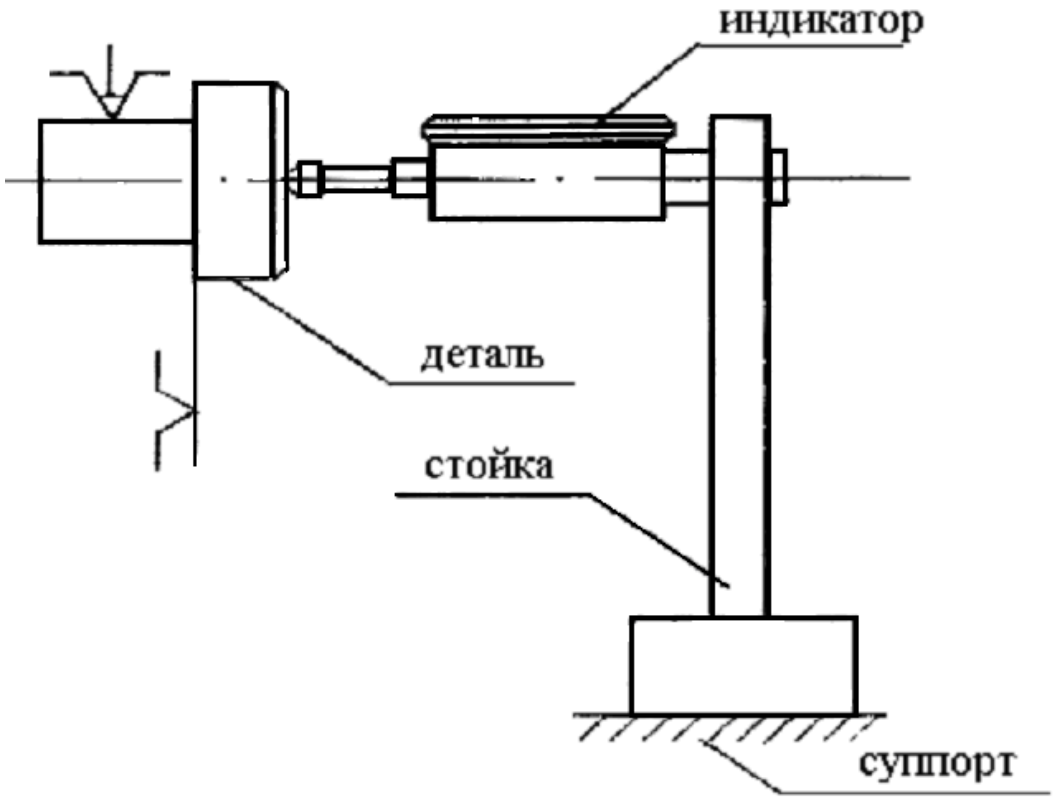


Рис. 6.Схема эксперимента

11. Провести обработку результатов:

а) определить $\overline{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{n}$,

б) определить $S_\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\Delta_i - \overline{\Delta})^2}{n-1}}$,

где $\overline{\Delta}$ – средняя ошибка закрепления (погрешность);

Δ – ошибки закрепления;

n – число повторений опыта;

S_Δ – ***стандарт ошибки.***

12. Повторить эксперименты по пп. 1…9 на 3-х станках.

13. Провести анализ точности закрепления деталей в 3-х патронах

по $\overline{\Delta}, S_{\Delta}$ и сделать выводы.

14. Провести сравнение величины радиального биения заготовки по Δr для 3-х станков и сделать выводы.

Биения в машинах и механизмах – отклонение от правильного взаимного расположения поверхностей во вращающихся (колеблющихся) цилиндрических деталях машин и механизмов. Радиальное Б. – разность наибольшего $A_{макс}$ и наименьшего $A_{мин}$ расстояний от точек реальной поверхности цилиндрической детали до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном к этой оси (рис. 7); радиальное Б. – результат смещения центра (эксцентриситета) рассматриваемого сечения относительно оси вращения.

Торцовое Б. – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцовой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра (D), до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения (рис. 8); торцовое Б. – результат неперпендикулярности торцовой поверхности к базовой оси и отклонений формы торца по линии измерения.

Б. – вредное явление в машинах и механизмах; они приводят к повышенному износу и выходу из строя деталей машин.



Рис. 7. Схема радиального биения.

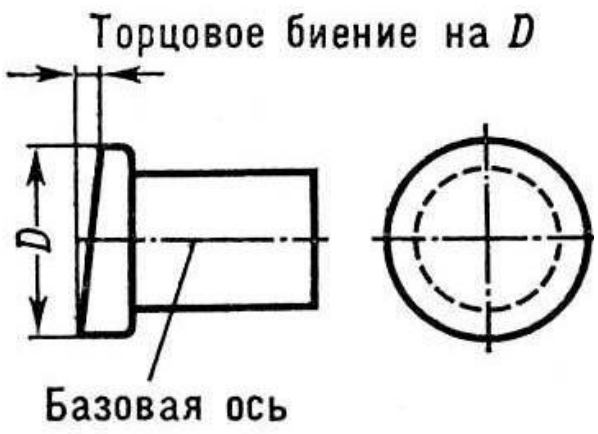


Рис. 8. Схема торцового биения.

(Форма отчета для лабораторной работы № 3)

Студент _____ *Группа* _____

Отчет по лабораторной работе № 3.

Сравнительный анализ 3-хкулачковых патронов

Схема эксперимента

Таблица

Результаты замеров. Станок №

№ опыта	*Показание индикатора*		*Ошибка закрепления*	*Торцовое биение детали при повороте*
	до закрепления	*после закрепления*		
	a_i	a_{i+1}	$\Delta i = a_{i+1} - a_i$	Δr
1				
2				
3				
…				
…				
25				

Обработка результатов

ВЫВОДЫ:

РАБОТА № 7. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ И РАСЧЕТ ГИТАРЫ СМЕННЫХ ШЕСТЕРЕН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ КАНАВОК

Делительные головки являются важнейшими принадлежностями консольно-фрезерных станков, которые расширяют их технологические возможности. Делительные головки служат для периодического поворота заготовки вокруг ее оси на определенный угол (деление на равные или неравные части); установки заготовки под требуемым углом относительно стола; непрерывного вращения заготовки при фрезеровании винтовых канавок большого шага на режущем инструменте или винтовых зубьев зубчатых колес.

Наибольшее распространение имеют универсальные делительные головки (УДГ). Делительная головка (см. рис. 9) состоит из червяка ***K*** (всегда однозаходный, т. е. $k = 1$), а также червячного колеса $Z_{ЧШ}$, имеющего 40, 60 или 80 зубьев и закрепленного на валу *11*. Червяк можно вращать рукояткой *7*, длину (т. е. радиус) которой можно менять и фиксировать с помощью фиксатора *8* на определенной окружности делительного диска *9*, соединенного с корпусом головки. Второй фиксатор *10* удерживает или освобождает делительный диск относительно корпуса делительной головки. Ножки раздвижного сектора *6* позволяют избежать погрешности при отсчете числа отверстий, когда вращают рукоятку, чтобы обеспечить деление.

Принцип деления заключается в том, что однозаходный червяк вращает червячное колесо с числом зубьев 40, 60 или 80. Отношение

$N = Z_{ЧШ} / k$ называют ***характеристикой делительной головки***. Одному обороту рукоятки *7*, т. е. одному обороту червяка, соответствует поворот червячного колеса на один зуб. Таким образом, если червячное колесо имеет 40 зубьев, оно повернется на 1/40 оборота. Для того чтобы заготовка, установленная на делительной головке, повернулась на один оборот, необходимо повернуть рукоятку на 40 оборотов.

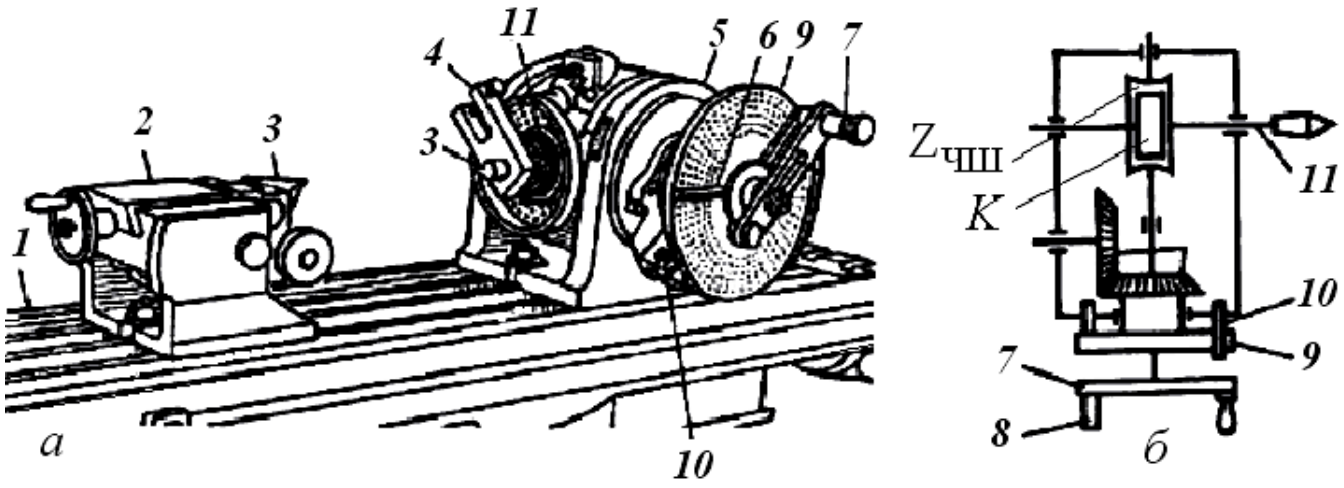


Рис. 9. Делительная головка:
а – установка на фрезерном станке; *б* – кинематическая схема при настройке на простое деление:
1 – стол станка; *2* – задняя бабка; *3* – центры; *4* – оправка; *5* – корпус делительной головки; *6* – раздвижной сектор; 7 – рукоятка настройки; *8* – фиксатор; *9* – делительный диск; *10* – фиксатор (стопор); *11* – шпиндель.

Делительные диски имеют ряды окружностей, на которых расположено определенное число отверстий.

Число отверстий делительного диска:

на одной стороне: 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;
на другой стороне: 33, 37, 39,41, 43, 47, 49, 54.

Применяются следующие способы наладки универсальных де-

лительных головок: для простого деления, дифференциального деления и фрезерования винтовых канавок.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться рассчитывать и настраивать делительную головку на простое, дифференциальное деление и фрезерование винтовых канавок.

ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. По заданию преподавателя рассчитать и начертить кинематические схемы делительной головки:

- для простого деления,
- для дифференциального деления,
- для фрезерования винтовых канавок.

2. Профрезеровать с помощью простого деления заданный многогранник.

3. Дать эскиз фрезы с основными параметрами и углами.

4. Настроить гитару делительной головки для дифференциального деления.

5. Отчет по работе выполняется на специальном бланке.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Метод простого деления

При простом делении вращение шпинделя (рис. 11) передается от рукоятки *7* с фиксатором через червяк *K* и червячное колесо, расположенное в средней части шпинделя. При этом делительный диск *9* должен быть закреплен с помощью стопора *10* относительно корпуса делительной головки.

Простое деление окружности на равные и неравные части проводится с помощью рукоятки *4* с фиксатором. Величина поворота рукоятки отсчитывается по отверстиям на делительном диске и фиксируется стержнем фиксатора.

Настройка головки заключается в определении числа оборотов рукоятки. Величина поворота рукоятки определяется по формуле:

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z},$$

где z – число, на которое требуется разделить обрабатываемую деталь;

N – характеристика делительной головки (передаточное число – основные стандартные значения 30, 40, 60);

$Z_{\text{ЧШ}}$ – число зубьев червячной шестерни;

K – число заходов червяка для данной головки,

$$N = 40; \quad K = 1; \quad Z_{\text{ЧШ}} = 40.$$

Если при вычислении число оборотов рукоятки получится дробным, то его необходимо преобразовать таким образом, чтобы

знаменатель дроби был ***равен числу отверстий на одной из окружностей на делительном диске 9.***

Пример. Требуется профрезеровать 18 канавок. Определить число оборотов рукоятки.

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z} = \frac{40}{18} = 2\frac{4}{18} = 2\frac{2}{9} = 2\frac{2^{\times 6}}{9^{\times 6}} = 2 + \frac{12}{54}.$$

Число 2 показывает, что после фрезерования каждой канавки рукоятку *7* необходимо повернуть на 2 полных поворота и двенадцать отверстий на окружности делительного диска с числом отверстий 54. Итак, для деления заготовки на 18 частей необходимы 2 оборота рукоятки *7* и 12 отверстий на окружности делительного диска *9* с 54 отверстиями. Устанавливаем раздвижной сектор *6* так, чтобы общее число отверстий, заключенных между внутренними сторонами (с фаской) линеек, было 12 + 1 = 13 (т.е. 12 интервалов между отверстиями) и к двум оборотам рукоятки добавляем поворот сектора.

Метод дифференциального деления.

Необходимый поворот шпинделя в случае дифференциального деления осуществляется поворотом рукоятки и делительного диска. Для этого фиксатор *10* (см. рис. 10) должен быть освобожден. Вращение делительного диска будет осуществляться от шпинделя *11* (см. рис. 10) через гитару сменных колес и коническую пару с передаточным отношением $i = 1$. Настройка головки заключается в определении числа оборотов рукоятки (как и в простом делении) и чисел зубьев гитары сменных колес.

Число оборотов рукоятки подсчитывают обычным методом деления, заменяя число делений, на которое нельзя разделить методом простого деления, числом $z_{\text{ПР}}$, близким к нему, но на которое возможно деление.

$$n_{\text{Р}} = \frac{N}{z_{\text{ПР}}}.$$

В этом случае при каждом приеме деления будет возникать погрешность α_x, которая должна компенсироваться дополнительным поворотом делительного диска в ту или иную сторону. Этот поворот обеспечивается гитарой сменных колес $\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}$ или $\frac{a}{d}$ с паразитным промежуточным колесом.

$$\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}=i_{\text{г}}=\frac{N(z-z_{\text{ПР}})}{z_{\text{ПР}}}.$$

Направление вращения делительного диска должно быть тем же, что и направление вращения рукоятки.

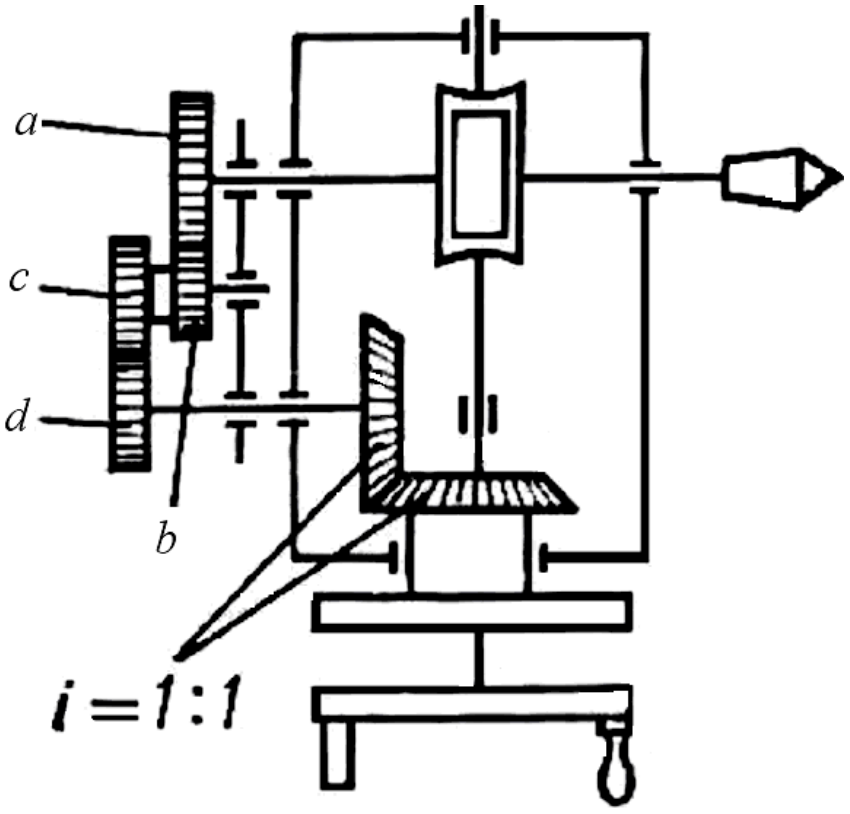


Рис. 10. Кинематическая схема УДГ, настроенной на дифференциальное деление.

Пример. Требуется нарезать шестерню с числом зубьев z = 93. Подбираем вспомогательное число $z_{\text{ПР}}$, близкое к заданному числу зубьев $z_{\text{ПР}}$ = 90.

В этом случае поворот рукоятки при делении определяется как

$$n_{\text{Р}} = \frac{N}{z_{\text{ПР}}} = \frac{40}{90} = \frac{4^{\times 6}}{9^{\times 6}} = \frac{24}{54} \quad \text{оборота.}$$

Передаточное отношение гитары, обеспечивающей деление на 93

$$i_{\text{г}} = \frac{N(z - z_{\text{ПР}})}{z_{\text{ПР}}} = \frac{40 \cdot (93 - 90)}{90} = \frac{120}{90} = \frac{4 \cdot 3}{3 \cdot 3} = \frac{4^{\times 10} \cdot 3^{\times 20}}{3^{\times 10} \cdot 3^{\times 20}} = \frac{40 \cdot 60}{30 \cdot 60}.$$

Получим $a = 40$, $b = 30$, $c = 60$, $d = 60$(см. Таблицу на стр.51).

Количество шестерен в гитаре может быть равным от 2 до 5.

Знак "–" значения передаточного отношения гитары сменных колес $i_{\text{г}}$ означает, что направление поворота делительного диска *9* (рис. 10) осуществляется в противоположную сторону от поворота рукоятки, уменьшая величину поворота рукоятки относительно делительного диска.

Фрезерование винтовых канавок

Фрезерование винтовых канавок производится при продольном перемещении стола фрезерного станка и одновременном вращении детали, закрепленном в делительной головке относительно своей оси. Для согласования вращения детали с продольным перемещением стола устанавливается гитара сменных шестерен, передающая вращение от ходового винта фрезерного станка через пару конических шестерен, червяк и червячное колесо на шпиндель делительной головки *11*. Делительный диск *9* при этом должен быть освобожден от стопора *10* и соединен с рукояткой фиксатором *8* (см. рис. 9 и 11).

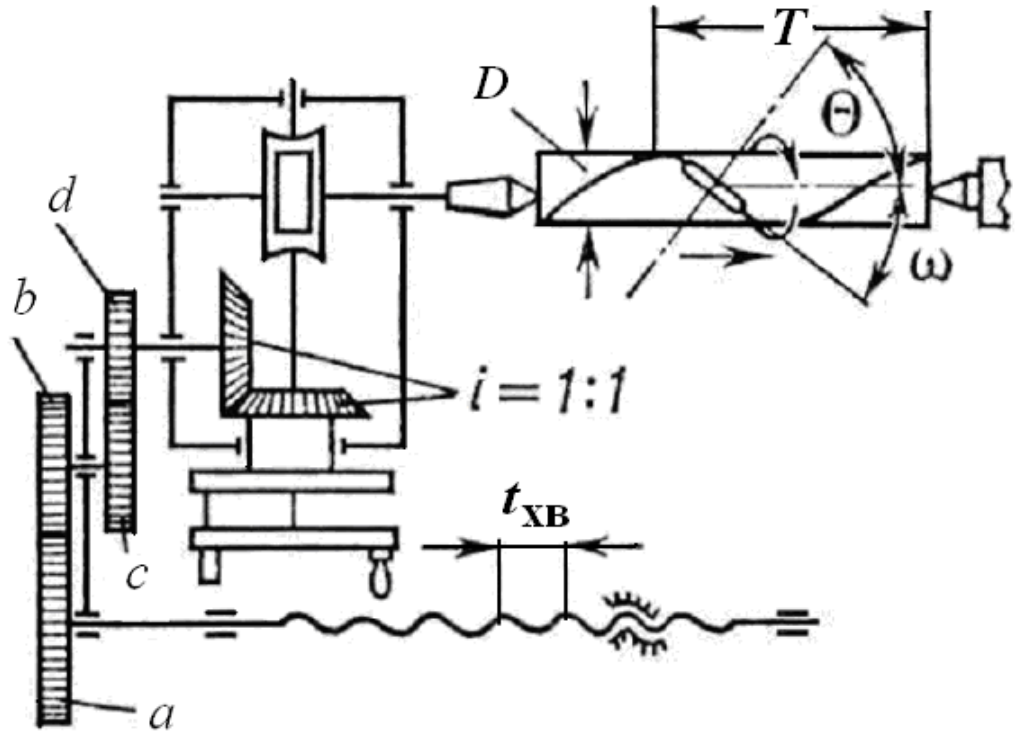


Рис. 11. Кинематическая схема УДГ,
настроенной на фрезерование винтовой канавки.

За один поворот заготовки стол должен перемещаться на величину:

$$1_{\text{ОБ.ЗАГ.}} \cdot \frac{Z_{\text{ЧШ}}}{K} \cdot i_k \cdot \frac{1}{i_{\Gamma}} = \frac{NT}{t_{\text{Х}} \cdot b},$$

$$i_k = 1; \quad \frac{Z_{\text{ЧШ}}}{K} = N; \quad i_{\Gamma} = \frac{t_{\text{ХВ}} \cdot N}{T} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d},$$

где $t_{\text{ХВ}}$ – шаг ходового винта продольной подачи фрезерного станка;

T – шаг нарезаемой винтовой канавки;

N – характеристика делительной головки.

При нарезании винтовых канавок фреза должна быть повернута

на угол наклона винтовой линии заготовки ω. Это достигается поворотом стола на тот же угол, который определяется по формуле

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\pi \cdot D}{T},$$

где D – диаметр обрабатываемой детали.

Следовательно, нарезание винтовых канавок возможно лишь на универсально-фрезерном станке, имеющем поворотный стол.

Пример. Профрезеровать винтовую канавку с шагом $T = 25$ мм: шаг ходового винта $t_{\text{ХВ}} = 6$ мм, диаметр заготовки $D = 12$ мм.

$$i_{\Gamma} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40 \cdot 6}{25} = \frac{40^{\times 2} \cdot 6^{\times 15}}{1^{\times 2 \times 15} \cdot 25} = \frac{80}{30} \cdot \frac{90}{25}$$ (см. табл. 10).

Таблица 10

Набор сменных шестерен к гитаре сменных шестерен

№	Количество зубьев у шестерни	Количество шестерен в наборе	№	Количество зубьев у шестерни	Количество шестерен в наборе
1	25	2	7	60	2
2	30	2	8	70	2
3	35	2	9	80	2
4	40	2	10	90	2
5	50	2	11	100	2
6	55	2	–	–	–

Формулы для определения:

а) диаметра заготовки шестерни по заданному количеству зубьев и модулю – $D = m(z + 2)$,

б) высоты зуба – $h = 2{,}2 \cdot m$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение делительной головки.
2. В чем заключается настройка делительной головки?
3. На каких станках можно попользовать делительную головку?
4. Какие работы можно выполнять с помощью делительной головки?
5. В чем заключается настройка делительной головки?
6. На каких станках можно производить фрезерование винтовых поверхностей?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горбунов Б.И.* Обработка металла резанием.- М.: Машиностроение. 1981.– 286 с.

2. *Барбашов Ф.А. и др*. Фрезерные и зуборезные работы. -М.: Высшая школа, 1983.– 304 с.

3. Головки делительные универсальные: Техническое описание и инструкция по эксплуатации Ю-42.47.013 ТО, 1978.

СОДЕРЖАНИЕ

РАБОТА № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ, РАСШИРЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ 3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ 10
РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕРЖИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА 36
РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ТИСКАХ, ПАТРОНЕ 44
РАБОТА № 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЕЗНАЛАДОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ 51
РАБОТА № 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 3-Х КУЛАЧКОВОГО ПАТРОНА ПО ТОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДЕТАЛЕЙ 69
РАБОТА № 7. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ИРАСЧЕТ ГИТАРЫ СМЕННЫХ ШЕСТЕРЕН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ КАНАВОК 73

Сергей Александрович Волегов

Лабораторный практикум

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения износостойкости
и восстановления деталей машин и аппаратов»

Корректура кафедры эксплуатации горного оборудования

Подписано в печать

Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16. Печать на ризографе.

Печ.л. 3,4. Уч.– изд.л. Тираж 50 экз. Заказ №

Издательство УГГУ.

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30.

Уральский государственный горный университет

Лаборатория множительной техники

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

С. А. Волегов, Т.П. Глинникова

ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

практикум

по выполнению самостоятельных работ для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 «Машиностроение» и СПО специальности 15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»

очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического факультета
Председатель комиссии
проф. В. П. Барановский

С. А. Волегов, Т. П. Глинникова

ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

практикум
по выполнению самостоятельных работ
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 «Машиностроение» и СПО
специальности 15.02.01 - «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»
очного и заочного обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Рецензент: *А. П. Комиссаров*, д-р техн. наук, профессор кафедры ГМК Уральского государственного горного университета

Руководство рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 05 марта 2016 г. (протокол № 6) и рекомендовано для переиздания в УГГУ.

Волегов С. А., Глинникова Т. П. ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА: практикум по выполнению самостоятельных работ для студентов направления бакалавриата:15.03.01 «Машиностроение» и СПО специальности 15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)» очного и заочного обучения / Волегов С. А., Глинникова Т. П**.** Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – *** с.

Руководство составлено для проведения лабораторных работ по дисциплине "Технологическое оборудование машиностроительного производства". В руководстве изложены краткие сведения об устройстве токарно-винторезных станков и методах обработки на них. Рассмотрен выбор инструмента в зависимости от обрабатываемой поверхности.

Для студентов специальности для студентов направления бакалавриата: 15.03.01 «Машиностроение» очного и заочного обучения

© Волегов С. А., Глинникова Т. П., 2019
© Уральский государственный горный университет, 2019

РАБОТА №1
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Задание

Для поверхностей, заданных в исходных данных (табл. 1), обозначить на эскизе направляющую и образующую линии, определить обратимость поверхностей, предложить метод образования поверхностей (копирование, след, обкат, касание), назвать металлорежущий станок, на котором выбранный метод может быть реализован**.**

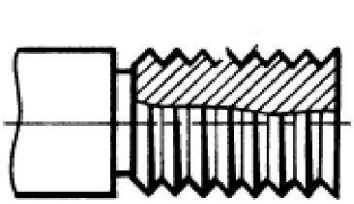
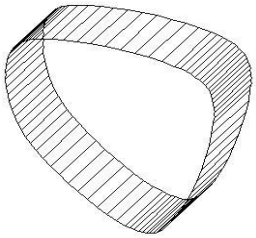
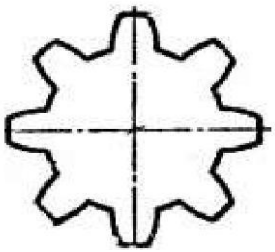
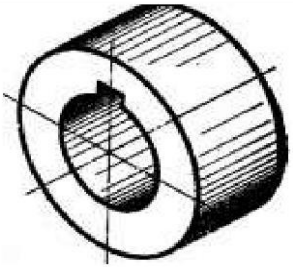
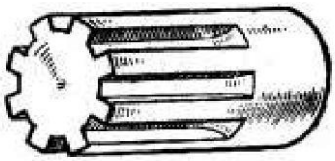
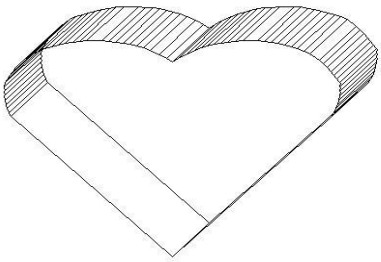
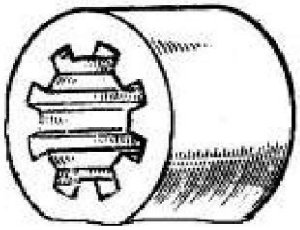
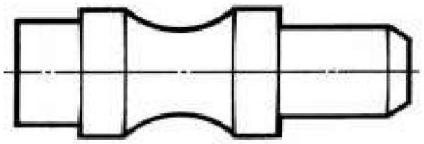
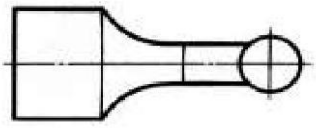
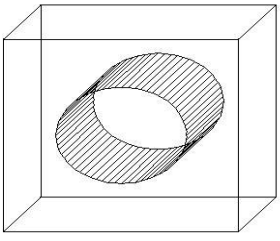
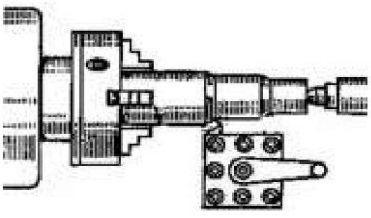
Теоретические сведения

Поверхности деталей машин, обрабатываемые на металлорежущих станках, могут быть геометрически представлены как результат согласованного движения двух производящих линий: образующей и направляющей. При обработке перемещение образующей линии по направляющей, образующее требуемую поверхность, обеспечивается относительным движением заготовки и инструмента. В отдельных случаях роль образующей линии выполняет профиль режущей кромки инструмента. Поверхности детали, образованные определенным способом согласования линий, могут быть обратимые (плоские, цилиндрические) и необратимые (винтовая, коническая). При образовании обратимых поверхностей образующая и направляющая линии могут менять свои функции, а при образовании необратимых – нет. Производящая линия может быть получена одним из следующих методов:

1. Метод копирования (производящая линия представляет собой копию режущей кромки инструмента, которая перемещается в направлении движения подачи).
2. Метод обката (производящая линия получается как огибающая несколько положений режущей кромки инструмента при ее обкате по начальной окружности).
3. Метод следа (производящая линия получается в результате движения режущей точки вдоль заданной траектории, т. е. является следом от движения режущей точки).

Таблица 1

Исходные данные для анализа поверхностей

Варианты	Наименование	Вид поверхности
1. 2.	Резьбовая поверхность, Наружный контур кулачка	 
3. 4.	Зуб колеса Шпоночный паз	 
5. 6.	Шлицевый вал Внутренний контур	 
7. 8.	Шлицевое отверстие Фасонный профиль	 
9. 10.	Фасонный профиль Отверстие	 
11. 12.	Внутренний зуб колеса Поверхность ступенчатого вала	 

4. Метод касания (производящая линия образуется как огибающая совокупность траекторий движения режущей точки). Отметим, что при методе следа контакт режущей кромки инструмента постоянный, а при методе касания – прерывистый.

РАБОТА №2
РАСЧЕТ МОДУЛЯ РЕЙКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ

Задание

Определить значение модуля рейки для получения заданной величины подачи суппорта токарного станка, который перемещается в продольном направлении с подачей *S*.

Исходные данные: $Z_ш$ − число зубьев приводной реечной шестерни; $i_р$ − передаточное отношение механизма реверса; $i_г$ − передаточное отношение гитары сменных колес; $i_{кп}$ − передаточное отношение коробки подач; $i_ф$ − передаточное отношение фартука. Исходные данные приведены в табл. 2.

Теоретические сведения

Зубчато-реечные передачи относятся к механизмам для преобразования вращательного движения в поступательное. Зубчато-реечные передачи состоят из двух основных элементов: зубчатой рейки и реечной шестерни (рис. 2). В токарных станках зубчато-реечная передача применяется для преобразования вращательного движения, передаваемого на реечную шестерню от коробки подач через ходовой вал и механизмы фартука, в поступательное движение суппорта станка. Реечная шестерня, закрепленная на валу фартука, входит в зацепление с зубчатой рейкой, закрепленной на станине, что и обеспечивает поступательное перемещение суппорта станка по продольным направляющим.

Основными параметрами зубчато-реечной передачи являются модуль рейки и число зубьев реечной шестерни. Для решения задачи следует составить уравнение кинематического баланса, связывающее

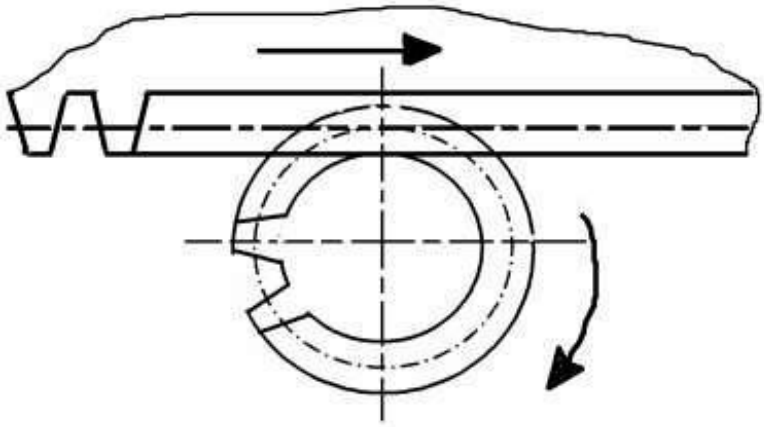


Рис. 2. Зубчато-реечная передача

Таблица 2

Исходные данные для расчета значения модуля рейки

Вариант	S мм/об	$i_р$	$i_г$	$i_{кп}$	$i_ф$	$Z_ш$
1	0,150	0,66	0,625	0,10	0,04	12
2	0,150	0,70	0,500	0,10	0,04	16
3	0,200	0,66	0,625	0,10	0,04	18
4	0,200	0,70	0,500	0,10	0,03	20
5	0,340	0,66	0,625	0,10	0,04	14
6	0,340	0,66	0,400	0,10	0,03	12
7	0,300	0,66	0,625	0,10	0,04	16
8	0,300	0,65	0,500	0,15	0,02	14
9	0,124	0,66	0,625	0,10	0,04	18
10	0,124	0,50	0,500	0.10	0,03	20
11	0,100	0,66	0,625	0,10	0,04	22
12	0,100	0,66	0,500	0,08	0,02	24
13	0,120	0,66	0,625	0,10	0,04	22
14	0,120	0,50	0,400	0,08	0,05	20
15	0,120	0,60	0,500	0,12	0,03	18
16	0,150	0,70	0,500	0,10	0,03	16
17	0,200	0,70	0,500	0,10	0,04	24
18	0,200	0,65	0,625	0,08	0,02	26
19	0,250	0,66	0,625	0,10	0,04	28
20	0,250	0,70	0,625	0,15	0,04	22

движение шпинделя и движение суппорта (за один оборот шпинделя суппорт перемещается на величину подачи). Следовательно,

$$1_{\text{об.шп.}} \cdot C_{\text{кц}} \cdot i_v \cdot \pi \cdot m \cdot Z_{\text{ш}} = S ,$$

где $C_{\text{кц}}$ – постоянное передаточное отношение, характеризующее цепь; i_v − передаточное отношение регулирующего звена, m – модуль реечного колеса, мм; S – величина подачи, мм/об.

РАБОТА №3
РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ ЗАДНЕЙ БАБКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНУСА НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

Цель работы

Изучить способы обработки конических поверхностей на токарно-винторезном станке модели 1616. Изучить приемы наладки станка на данный вид работы при различных способах точения.

Исходные данные (табл. 3**)**: d_1 – меньший диаметр, мм; d_2 – диаметр основания, мм; l – высота конуса, мм; L – расстояние между центрами, мм.

Задание

Определить величину смещения центра задней бабки h при обработке на токарном станке конусного валика с параметрами, приведенными в исходных данных. Дать рекомендации по настройке станка для изготовления конических поверхностей.

Теоретические сведения.

Обработка конических поверхностей на токарных станках связана с образованием конуса (рис. 3). Основным параметром конической поверхности является конусность, которая определяется из выражения

$$K = \frac{D - d}{l} = 2\text{tg}\alpha,$$

где D – большой диаметр конуса, мм; d – малый диаметр конуса, мм;

l – расстояние между этими диаметрами, мм;α – угол при вершине конуса, °.

Таблица 3

Исходные данные для изготовления конического валика в миллиметрах

Вариант	Параметры				Вариант	Параметры			
	d	D	l	L		d_1	d_2	l	L
1	35	40	150	200	13	25	30	100	120
2	30	40	120	200	14	25	32	100	120
3	25	30	100	150	15	25	35	100	120
4	35	45	120	180	16	30	35	100	120
5	35	50	120	150	17	30	40	100	120
6	35	40	120	180	18	30	42	100	120
7	20	30	120	130	19	35	40	120	130
8	20	30	110	130	20	35	42	120	130
9	40	45	150	200	21	35	48	120	130
10	45	50	160	200	22	40	58	120	130
11	48	52	160	200	23	40	56	120	150
12	45	50	80	100	24	40	55	150	150

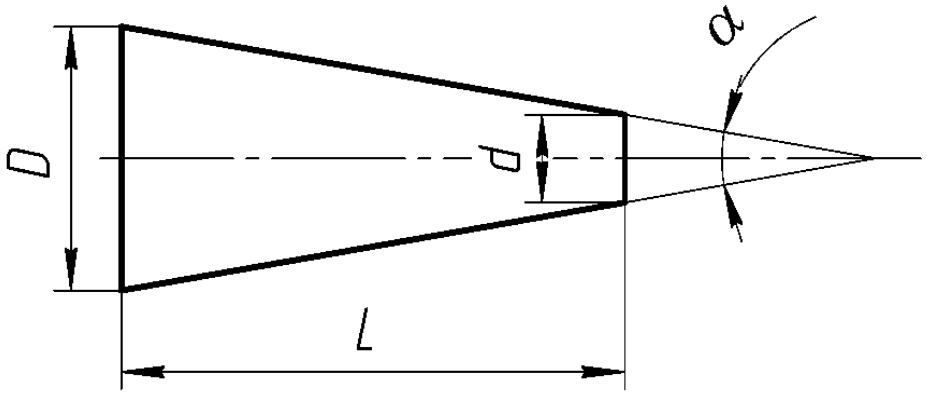


Рис. 3. Элементы конуса:
α – угол конуса; d – малый диаметр конуса; D – большой диаметр конуса;
l – длина конуса

Конусность обозначается

__1: x ,

где 1 – условное обозначение половины разности диаметров мм;
x – величина, показывающая во сколько раз расстояние между этими диаметрами больше половины разности диаметров.

Например, для конусности __1 : 20 , известном D = 60 мм и d = 50 мм, расстояние между этими диаметрами

$$L = \frac{D - d}{1} \cdot 20 = \frac{60 - 50}{1} \cdot 20 = 200\text{мм}.$$

ГОСТом предусмотрен ряд значений конусности в диапазоне __1 : 500 – __1 : 3.

Конусы с конусностью 1:20 называются "Метрические". В табл.4 представлен размерный ряд метрических конусов

Таблица 4

Конус метрический						
Обозначение	4	6	80	100	120	160
D, мм	4	6	80	100	120	160
d, мм	3	4,6	71,5	90	108,5	145,5
Конусность	1:20					

Предусмотрены (ГОСТ 15945-70) конусы с конусностью 7:24. В табл.5. представлен размерный ряд конусов 7:24

Таблица 5

Конус7:24		
Обозначение конусов	D, мм	d, мм
10	15,87	9,5
15	19,05	11,2
25	25,40	13,8
30	31,75	17,4
35	38,1	21,4
40	44,45	25,3
45	57,15	32,4
50	69,85	39,6
55	88,90	50,5
60	107,95	60,2
65	133,35	75,0
70	165,10	92,9
75	203,20	114,3

В станкостроительной и инструментальной промышленности широко применяются конусы "Морзе". Размеры этих конусов приведены в табл.6.

Таблица 6

Обозначение конуса	0	1	2	3	4	5	6
Конусность	1:19,212	1:20,047	1:20,020	1:19,922	1:19,254	1:19,002	1:19,180
D, мм	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348
d, мм	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,6

Способы точения конусов и наладка станка

На токарно-винторезном станке получить коническую поверхность можно следующими способами:

– фасонным резцом;
– поворотом резцовых салазок;
– смещением корпуса задней бабки;
– применением копировальной линейки.

Фасонным резцом точатся короткие конусы длиной не более 20 мм. Схема резания представлена на рис. 4.

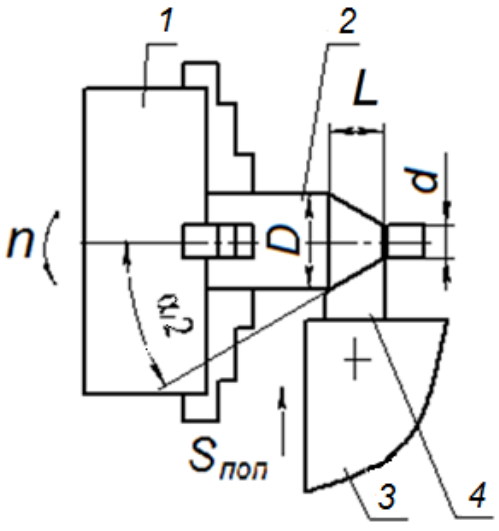


Рис. 4. Точение конуса фасонным резцом:
1 – трехкулачковый патрон; *2* – обтачиваемая заготовка; *3* – резцедержатель; *4* – фасонный резец; *n* – вращение шпинделя; $S_{поп}$ – поперечная подача.

Данный способ требует два формообразующих движения: главное – вращение шпинделя *n*; установочное – перемещение резцедержателя $S_{поп}$

При использовании этого метода надо установить фасонный резец в резцедержатель и перемещать суппорт в поперечном направлении до упора, который настраивается по требуемым размерам конической поверхности.

Преимущество способа: не требуется дополнительная настройка станка. Недостатки способа: небольшая (до 20 мм) длина конуса *L*.

Поворотом резцовых салазок точатся относительно длинные конуса, но не более 140 мм. Схема резания представлена на рис.5.

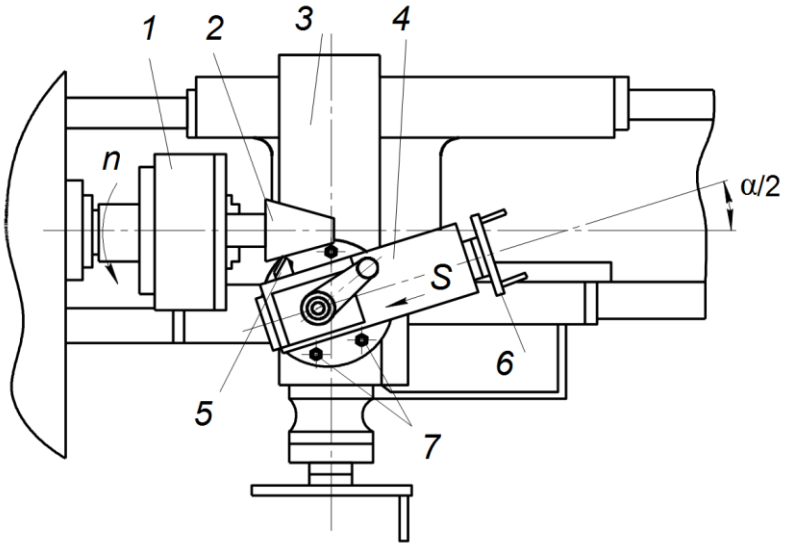


Рис. 5. Точение конуса поворотом резцовых салазок:
1 – трехкулачковый патрон; *2* – обтачиваемая заготовка;*3* – поперечный суппорт; *4* – резцовые салазки; *5* – проходной резец; *6* – маховичок перемещения резцовых салазок;*7* – гайки крепления резцовых салазок; *n* – вращение шпинделя; *S* – подача

Данный способ требует два формообразующих движения: главное – вращение шпинделя *n*; подачи – перемещение резцедержателя с резцовыми салазками *S*.

При использовании этого способа необходимо ослабить две гайки *7*, крепящие резцовые салазки (расположены по две гайки спереди и сзади резцедержателя), развернуть резцовые салазки на угол α/2, затянуть гайки. Вращая маховичок переместить резцовые салазки с резцом вдоль образующей конуса.

Преимущества способа: простая наладка; можно точить наружные и внутренние поверхности.

Недостатки способа – длина конуса ограничена ходом резцовых салазок.

Способом смещения корпуса задней бабки точатся длинные конические поверхности. Схема резания представлена на рис. 6.

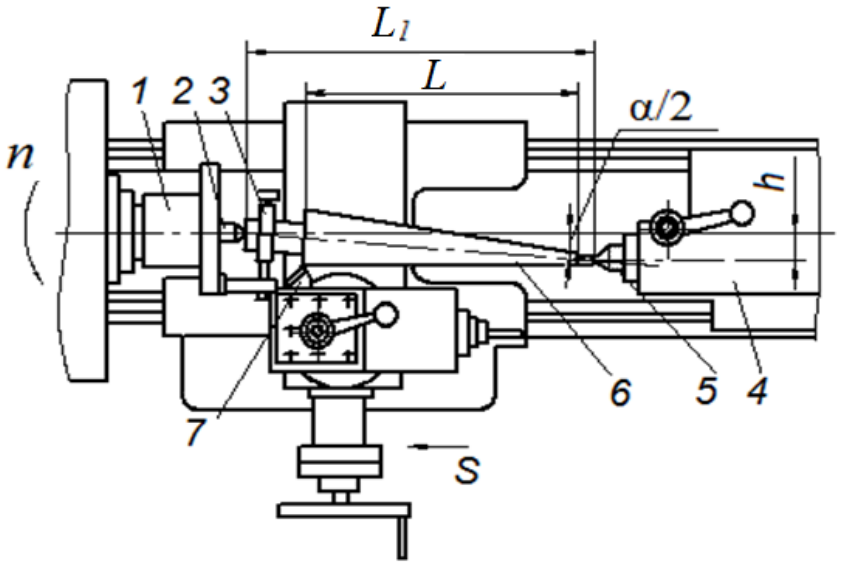


Рис. 6. Точение конуса способом перемещения задней бабки:
1 – поводковый патрон; *2* – передний конус; *3* – хомут; *4* – задняя бабка;*5* – задний центр; *6* – заготовка; *7* – проходной резец; *n* – вращение шпинделя; *S* – подача

Данный способ требует два формообразующих движения: главное – вращение шпинделя *n*; подачи – перемещение салазок *S*.

При точении конуса этим способом в поводковый или трехкулачковый патрон устанавливается передний центр. В отверстие пиноли задней бабки устанавливается задний центр. Вращением винта на основании корпуса задней бабки смещают этот корпус на величину *h*. Контроль перемещения ведут по индикатору, закрепленному в индикаторной стойке.

Величина смещения *h* определяется по формуле

$$h = \frac{L_1}{L} \cdot \frac{D - d}{2}.$$

На предварительно зацентрованную с двух сторон заготовку надевают и закрепляют хомут и устанавливают в центра.

Преимущества способа: можно точить длинные конуса.

Недостатки способа: достаточно сложная настройка, требующая приспособления; базирование заготовки в центрах при смещенной задней бабке грубое, что снижает точность обработки.

Применение копировальной линейки позволяет обтачивать длинные конуса в крупносерийном и массовом производствах. Схема резания представлена на рис. 7.

Данный способ требует три формообразующих движения: главное – вращение шпинделя n; продольной подачи S_2 – перемещение салазок; поперечной подачи S_1 – перемещение суппорта.

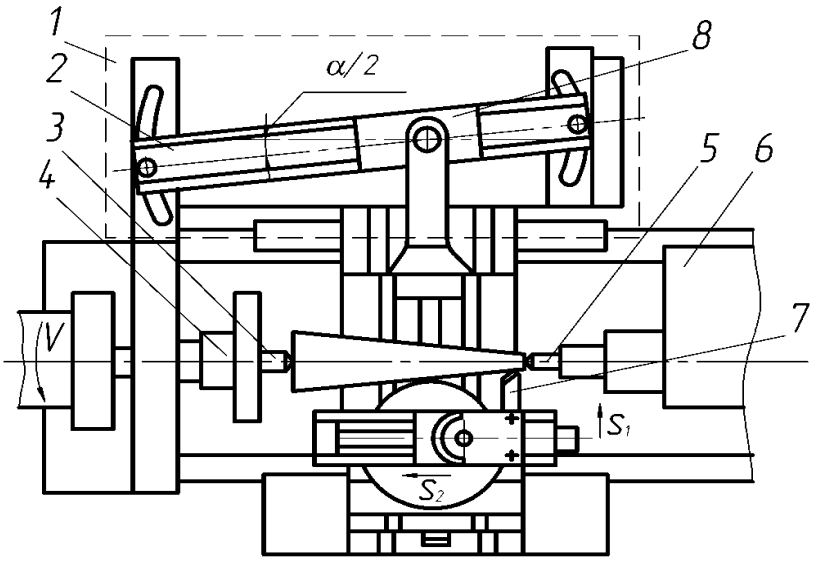


Рис. 7. Точение конусов с использованием копировальной линейки:
1 – копировальное приспособление; *2* – копировальная линейка;
3 – передний центр; *4* – поводковый патрон; *5* – задний центр; *6* – задняя бабка; *7* – резец проходной; *8* – ползун копировальной линейки

При использовании этого способа на станок с задней стороны к станине крепится копировальное приспособление. По направляющим копировальной линейки перемещается ползун, соединенный с суппортом станка. Заготовка устанавливается в центрах, резец крепится в резцедержателе. Копировальная линейка в корпусе приспособления поворачивается на угол α/2. При сообщении салазкам продольной подачи S_2 ползун копировальной линейки перемещается вдоль ее направляющих и сообщает резцедержателю с резцом поперечную подачу S_1. Таким образом, резец перемещается одновременно по двум координатам обтачивая коническую поверхность.

Преимущества способа: высокая точность обработки

Недостатки способа: требуется достаточно сложное приспособление.

Ход выполнения работы

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Визуально ознакомиться со станком. Определить местонахождение настроечных элементов, которые упоминаются в рассматриваемых ниже способах.

3. Для заданного варианта (табл. 7 и 8) рассчитать настроечные параметры для всех способов.
4. Нарисовать эскиз наладок для всех способов с указанием всех необходимых размеров.
5. Наладить станок на обработку конуса.
6. Составить отчет о проделанной работе.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:
1. Описание назначения и области применения станка.
2. Рисунок общего вида с указанием основных узлов и элементов управления станком.
3. Эскизы наладок.
4. Расчет настроек станка.

Примечание: рисунки общего вида и наладок допускаются в виде ксерокопий.

Контрольные вопросы

1. Назовите параметры конической поверхности.
2. Дайте определение конусности. Взаимосвязь конусности с другими параметрами конической поверхности.
3. Обозначение конусности. Типы конусов.
4. Назовите способы точения конусов и опишите суть каждого из них.
5. Назовите настроечные параметры и действия для каждого метода

Задания к практической работе

Таблица 7

Исходные данные для изготовления конического валика в миллиметрах

	D	*d*	*K*
1.	110	30	0,5
2.	125	28	0,4
3.	130	32	0,45
4.	140	35	0,35
5.	100	40	0,3
6.	95	20	0,5
7.	80	25	0,45
8.	105	35	0,3
9.	115	38	0,35

Окончание табл.7

10.	135	40	0,4
11.	145	50	0,5
12.	85	40	0,45
13.	90	35	0,3
14.	70	20	0,35
15.	75	25	0,4
16.	120	33	0,5
17.	135	36	0,3
18.	130	42	0,4
19.	140	53	0,45
20.	115	32	0,35

Таблица 8

Исходные данные для изготовления конического валика в миллиметрах

	D	d	L_1	L
1	300	250	400	380
2	315	265	450	420
3	350	250	500	480
4	280	235	550	300
5	295	245	600	500
6	275	250	350	320
7	250	200	370	300
8	260	215	430	400
9	200	175	410	370
10	210	190	380	340
11	220	165	420	400
12	230	200	510	500
13	245	205	470	450
14	255	190	370	300
15	270	210	340	310
16	280	235	280	260
17	290	240	320	290
18	265	235	410	380
19	275	250	630	420
20	240	200	660	620

РАБОТА № 4
НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 1К62Д НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ

Цель работы: Изучение настроек станка при нарезании различных резьб резцом. Для этого необходимо изучить:

– основные типы резьб, нарезаемых на станке;
– органы настройки, используемые при нарезании резьб;
– кинематические цепи станка, используемые при нарезании резьб.

Назначение и область применения станка

Токарно-винторезный станок модели 1К62Д является универсальным и предназначен для различных токарных работ, обработки центральных отверстий, а также для нарезания резьб: метрической, дюймовой, модульной, питчевой и архимедовой спирали. Класс точности Н по ГОСТ 8-82.

Основные технические данные и характеристики

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, мм	435
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	224
Наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм	1000
Наибольшая длина хода каретки, мм	930
Число ступеней частот вращения шпинделя: прямого вращения	23
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин:	12,5 - 2000
Диапазон нарезаемых резьб:	
метрических, мм	0,5 - 192
модульных, мм	0,5 - 48
дюймовых, ниток на дюйм	24 - $1^5/_8$
питчевых, питч	96 - 1
архимедовой спирали, ступени	4

Устройство станка

На рис. 8 представлен общий вид станка с обозначением органов управления и основных узлов.

Основные узлы станка (рис. 8)

I – Шкаф управления; *II* – Бабка шпиндельная; *III* – Коробка подач; *IV* – Основание; *V* – Фартук; *VI* – Салазки; *VII* – Суппорт; *VIII* – Резцовый (поворотный) суппорт; *IX* – Станина; *X* – Бабка задняя.

Органы управления станком:

1. Рукоятка установки шага резьбы и величины подачи.
2. Рукоятка выбора типа резьбы и вида работ (резьба или подача).
3. Рукоятка установки частоты вращения шпинделя.
4. Рукоятка установки нормального или увеличенного шага резьбы и положения при делении многозаходных резьб.
5. Рукоятка установки правой и левой резьбы и подачи.
6. Рукоятка установки частоты вращения шпинделя.
7. Панель управления.
8. Вводной автоматический выключатель.
9. Сигнальная лампа.
10. Включатель насоса охлаждающей жидкости.
11. Амперметр.
12. Лимб жесткого упора.
13. Болты крепления жесткого упора.
14. Передвижной жёсткий упор.
15. Шпиндель.
16. Защитный кожух трехкулачкового патрона.
17. Рукоятка поворота и крепления резцедержателя.
18. Резцедержатель.
19. Зажим салазок
20. Рукоятка ручного перемещения резцовых салазок суппорта.
21. Трубка подвода СОЖ.
22. Кнопка ускоренного перемещения салазок и суппорта.
23. Рукоятка управления механическими перемещениями салазок и суппорта.
24. Рукоятка зажима пиноли задней бабки.
25. Рукоятка крепления задней бабки к станине.
26. Маховик перемещения пиноли задней бабки.
27. Рукоятка включения гайки ходового винта

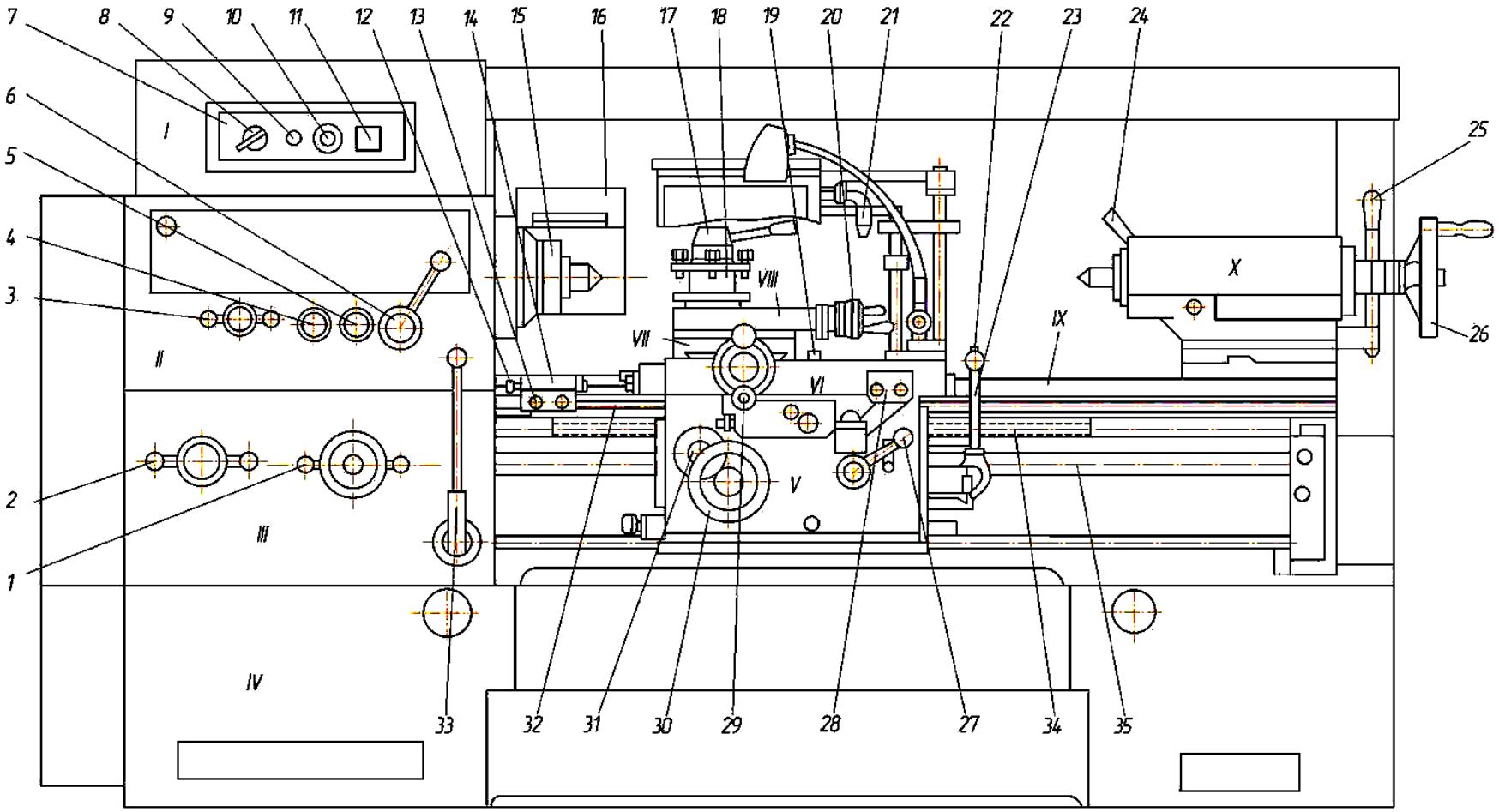


Рис. 8. Общий вид станка

28. Кнопки включения и выключения главного электродвигателя
29. Рукоятка перемещения суппорта.
30. Маховик ручного перемещения салазок.
31. Кнопка включения и выключения реечной шестерни.
32. Рейка продольной подачи.
33. Ручка включения правого или левого направления вращения шпинделя.
34. Ходовой винт.
35. Ходовой вал

Кинематические зависимости при нарезании различных резьб

На станке могут нарезаться резьбы метрические, дюймовые, модульные, питчевые и архимедова спираль. Данные резьбы отличаются способом задания шага и профилем. Первые четыре нарезаются при продольном перемещении салазок, а архимедова спираль – при поперечном перемещении суппорта на торцевой поверхности заготовки.

Основным параметром резьбы является ее шаг – это расстояние между двумя соседними одноименными точками профиля резьбы.

Чтобы получить резьбовую поверхность резцом на круглой цилиндрической заготовке, необходимо одновременно вращать заготовку и перемещать резец вдоль ее оси. Таким образом, за один оборот заготовки резец должен переместиться на величину шага.

Уравнение настройки в резьбонарезной кинематической цепи имеет вид:

$$1 \text{ об. шп.} \cdot c \cdot i_{уш} \cdot i_{Б7} \cdot i_{г} \cdot i_{кп} \cdot i_{хв} \cdot = T, \cdot$$

где 1 об. шп. – один оборот шпинделя;

c – константа резьбонарезной цепи;

$i_{уш}$ – передаточное отношение звена увеличения шага;

$i_{Б7}$ – передаточное отношение блока $Б_7$;

$i_{г}$ – передаточное отношение гитары сменных колес;

$i_{кп}$ – общее передаточное отношение коробки подач;

$t_{хв}$ – шаг ходового винта, мм;

T – шаг нарезаемой резьбы, мм.

Константа "c" представляет собой произведение постоянных передаточных отношений между валами кинематической цепи. Передаточное отношение звена увеличения шага может быть равным 8 или 32. Передаточное отношение гитары сменных колес для стандартных резьб

метрических и дюймовых – 45 – 50, для модульных и питчевых 64 – 97. Для специальных резьб значения могут быть другие.

Шаг нарезаемой резьбы задается по-разному, в зависимости от типа резьбы. Шаг метрической резьбы задается непосредственно в миллиметрах. Шаг дюймовой резьбы задается в нитках на дюйм "n" и измеряется в миллиметрах по формуле

$$T = \frac{25{,}4}{n}, \text{мм.}$$

Шаг модульной резьбы задается в модулях "m" и измеряется в миллиметрах по формуле

$$T = \pi \cdot m, \text{ мм.}$$

Шаг питчевой резьбы задается диаметральным питчем "P" и измеряется в миллиметрах по формуле

$$T = \frac{25{,}4\pi}{P}, \text{мм.}$$

Кинематика станка

Кинематическая структура станка состоит из одной сложной кинематической группы, создающей два формообразующих движения: главное и подачи.

Главное движение в станке – это вращение шпинделя. Кинематическая цепь главного движения (рис. 9) включает в себя электродвигатель, шпиндельную бабку с коробкой скоростей и шпинделем. Движение начинается от электродвигателя М1 и через клиноременную передачу передается на вал *I*. Прямое вращение передается на вал *II* через блок зубчатых колес Б1, а обратное через колеса 50, паразитный блок 24, 36, колесо 38. С вала *II* на вал *III* движение передается через колеса 29, 21, 38, и блок Б2. Далее движение может передаваться либо по короткой кинематической цепи сразу на вал *VI* (шпиндель) через колеса 65 или 30 и блок Б3, либо по длинной кинематической цепи через колеса 45 или 22 на блок Б4 на вал *IV*, через колеса 22–88 на вал *V*, колеса 30–60 на вал *VI* (шпиндель). Эта кинематическая цепь называется так же "Звено увеличение шага". При использовании этого звена вал *VII* может получать частоты вращения в восемь раз большие (1·4·2 = 8) при зацеплениях 45($Б_6$) – 45(вал *III*) – 45($Б_4$), 22–88, 30–60($Б_3$), либо в тридцать два раза большие (4·4·2 = 32) при зацеплениях 45($Б_6$)–45(вал *III*), 22(вал *III*)–88($Б_4$), 22–88, 30–60, чем при зацеплении колесо 60(вал *VI*–

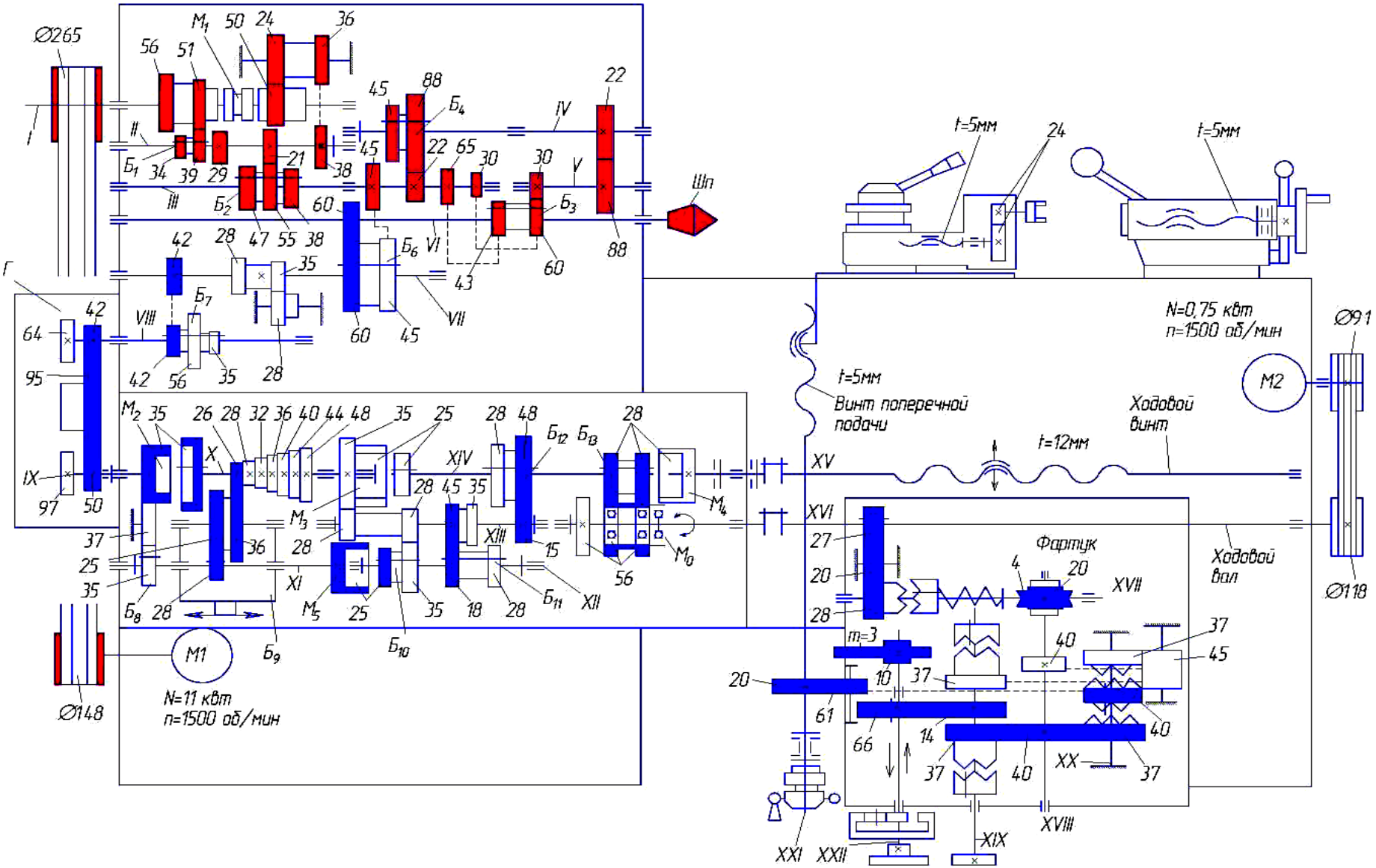


Рис. 9. Кинематическая схема станка

шпиндель) – 60($Б_6$).*Включение главного движения* осуществляется нажатием черной кнопки 28 (рис. 8). Правое вращение шпинделя включается наклоном до упора рукоятки 33 (рис. 8)вправо.

Левое вращение (реверс) включается поворотом этой же рукоятки против часовой стрелки до упора. Вертикальное положение рукоятки – останов шпинделя. Рукоятки *3* и *6* расположенные на корпусе шпиндельной бабки (рис. 8) служат для настойки главного движения на заданную частоту вращения шпинделя. Выключение главного движения осуществляется нажатием красной кнопки *28* (рис. 8). Положения рукояток, соответствующие той или иной частоте вращения шпинделя показаны в таблице, расположенной на корпусе шпиндельной бабки.

ВНИМАНИЕ!!! Переключение скоростей главного движения только при остановленном шпинделе, рукоятка *33* (рис. 8) находится в нейтральном положении).

Движение резьбонарезания в станке – это перемещение резца вдоль оси заготовки или в направлении перпендикулярном к оси заготовки (архимедова спираль). Кинематическая резьбонарезная цепь включает в себя звено увеличения шага (блок $Б_6$) для нарезания резьб с крупным шагом, механизм реверса (блок $Б_7$) для нарезания правых и левых резьб, гитару Г, коробку подач, ходовой винт, маточную гайку. Принцип передачи движения в коробке скоростей был рассмотрен выше. Тройной блок $Б_7$позволяет предавать вращение с передаточным отношением 0,5 (колеса 28 – 56) либо с отношением 1 (колеса 42–42). При помощи этого блока можно осуществить реверс движения (колеса 35–28–35). Гитара сменных колес позволяет настраиваться на тип резьбы и шаг при нарезании точных резьб. При данном резьбонарезании выходной вал гитары *IX* соединяется с ходовым винтом *XV* напрямую при включенных муфтах $М_2$, $М_3$ и $М_4$, расположенных в коробке подач. Шаг резьбы настраивается сменными колесами гитары, которые входят в комплект станка или поставляются по особому заказу.

Коробка подач. При помощи коробки подач настраиваются на шаг резьбы и ее тип. Метрическая резьба (кинематическая цепь рис. 10). При нарезании метрической резьбы устанавливаются колеса гитары 42–50. Включается муфта $М_2$, далее с вала *X* на вал *XI* через конус шестерен 26–48, колеса 36–25–28, включенную муфту $М_5$, на вал *XII*. С вала *XII* на вал *XIV* через блоки $Б_ц$ и $Б_{12}$ и при включенной муфте $М_4$ на ходовой винт с шагом t = 12 мм.

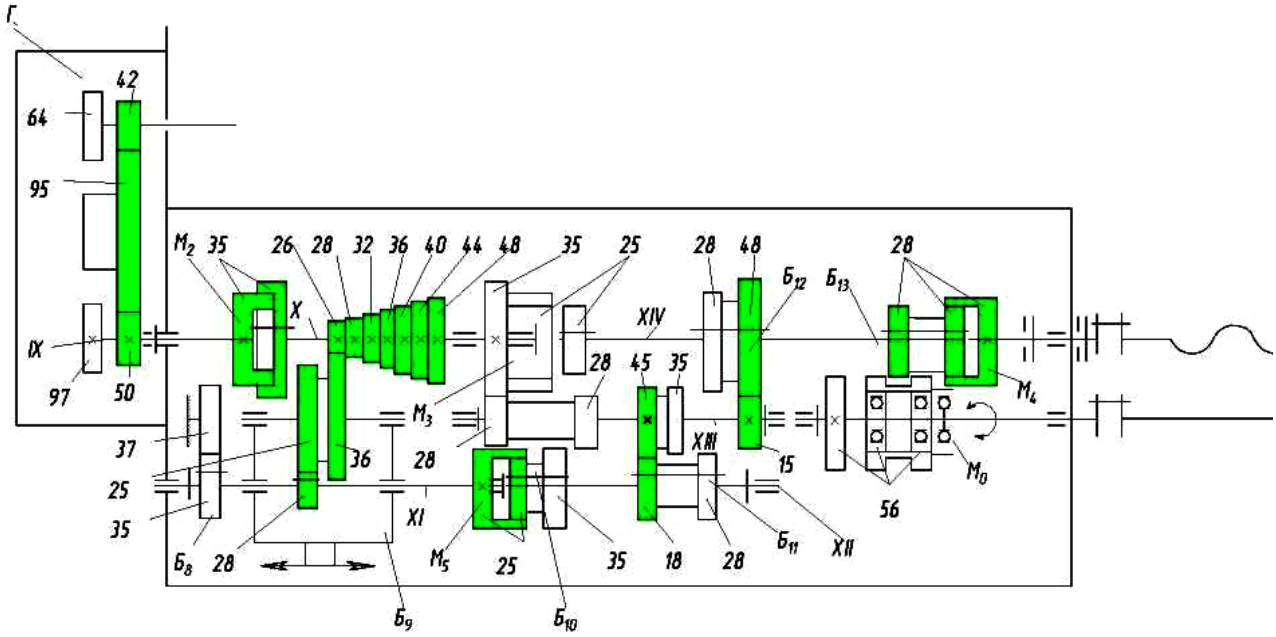


Рис. 10. Настройка для метрической резьбы

Дюймовая резьба (кинематическая цепь рис. 11) При нарезании дюймовой резьбы устанавливаются колеса гитары 42–50. Далее с вала *IX* при выключенной муфте M_2 движение передается на вал *XI* черезколеса 35–37–35, далее через колеса 28–25–36 накидного механизма конуса шестерен, конус шестерен 26–48. Далее при выключенной муфте M_3 с вала *X* на вал *XII* через колеса 35–28–28–35. Далее, с вала *XII* на вал *XIV* через блоки $Б_ц$ и $Б_{12}$ и при включенной муфте M_4 на ходовой винт с шагом t = 12 мм.

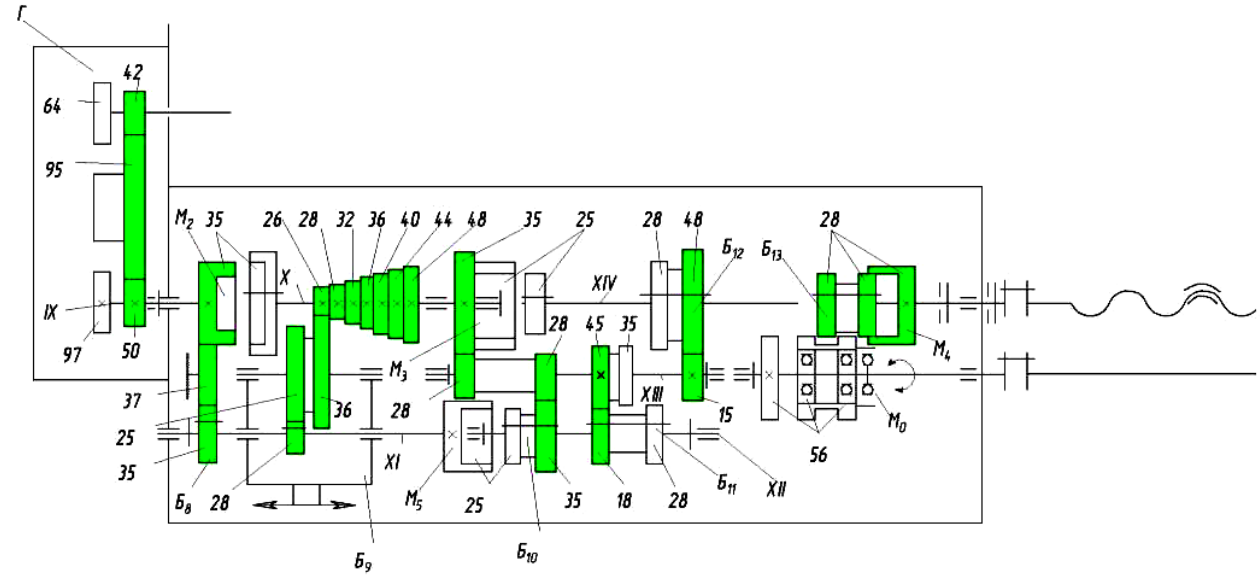


Рис. 11. Настройка для дюймовой резьбы

Модульная и питчевая резьбы нарезаются при настройке коробки подач соответственно метрической и дюймовой резьб, а колеса гитары настраиваются 64–97 (рисунки 12 и 13 соответственно).

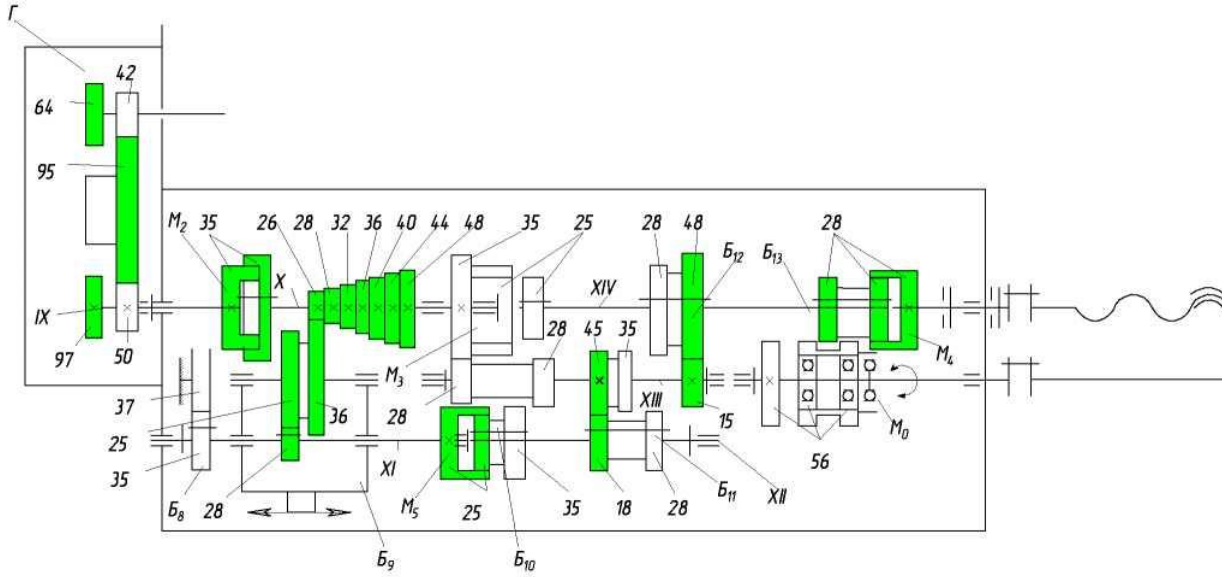


Рис. 12. Настройка для модульной резьбы

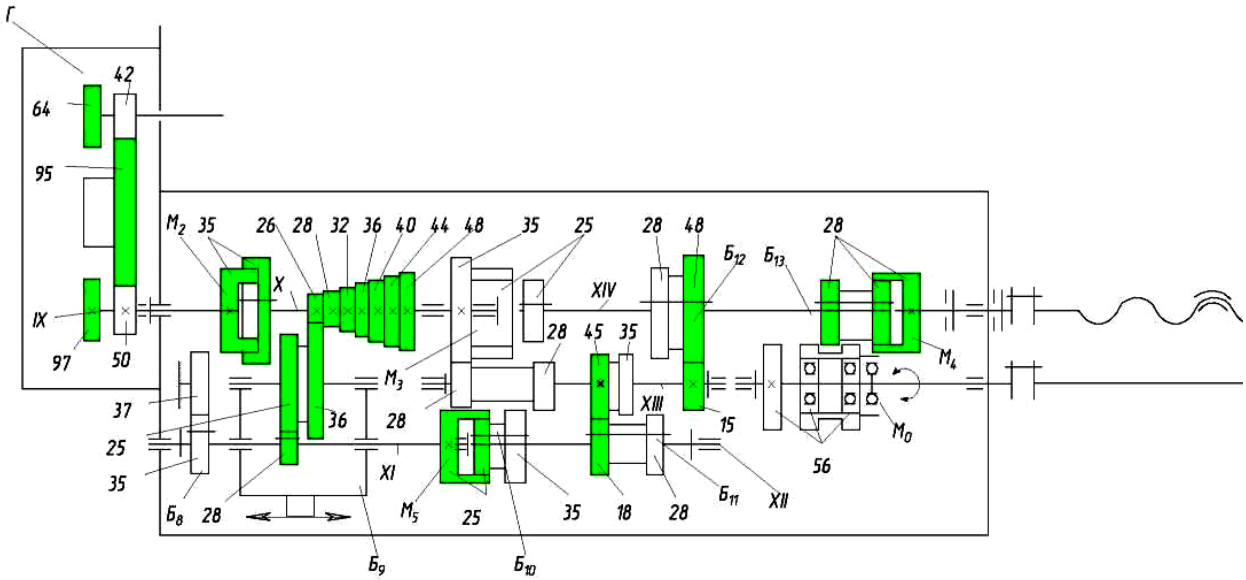


Рис. 13. Настройка для питчевой резьбы

Точные резьбы нарезаются по кинематической цепи, исключающей зубчатые передачи коробки подач, только через муфты (рис. 14). Настройка на требуемый шаг осуществляется гитарой сменных колес.

При установленных заготовке и резце нарезание резьбы осуществляется в следующей последовательности:

– в гитару устанавливаются соответствующие, нарезаемой резьбы колеса;

– рукоятка *2* (рис. 8) устанавливается в положение, соответствующее выбранному типу резьбы;

– рукояткой *1* выбирается необходимый шаг.

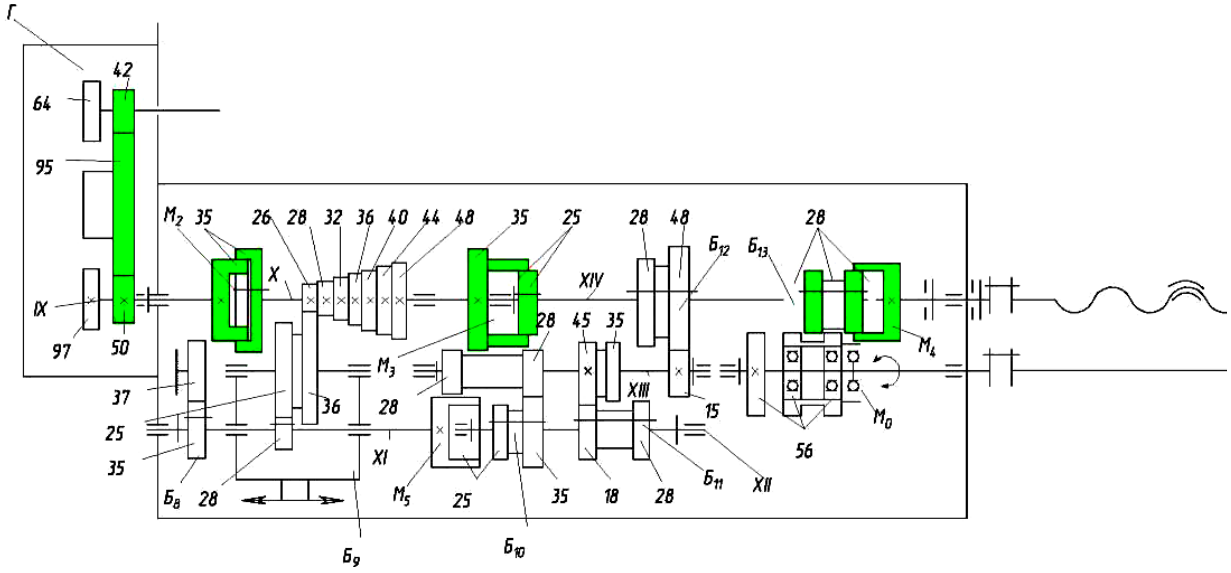


Рис. 14. Настройка для точных резьб

ВНИМАНИЕ!!! Вытягивать и вставлять внутренний барабан можно только при фиксированном положении барабана (раздается щелчок) наружного барабана.

– в соответствии с выбранным шагом устанавливают рукоятки 4, 5, 6;

– включают вращение шпинделя;

– включают маточную гайку поворотом рукоятки 27 (рис. 8) вниз до упора.

Ход выполнения работы:

– ознакомиться с описанием лабораторной работы;

– визуально на станке определить основные узлы и органы управления, упоминающиеся в описании;

– включить станок.

ВНИМАНИЕ!!! Включать станок в работу только в присутствие преподавателя.

– осуществить переключения в цепи главного движения и движения резьбонарезания для различных резьб и способов нарезания (по правилам, указанным выше);

– выключить станок;

– составить отчет.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Описание назначения и области применения станка.
2. Рисунок общего вида с указанием основных узлов и элементов управления станком.
3. Кинематическую схему станка с выделением кинематических цепей главного движения и всех видов резьб различным цветом.
4. Расчет настроек станка для всех видов резьб.

Примечание: рисунки общего вида и кинематической схемы допускаются в виде ксерокопий.

Контрольные вопросы

1. Назначение, область применения и основные технические характеристики станка.
2. Назовите органы управления станком.
3. Назовите основные узлы станка.
4. Назовите типы резьб нарезаемые на станке и зависимости для определения их шагов.
5. Покажите по кинематической схеме кинематическую цепь, используемую при нарезании дюймовой и питчевой резьб.
6. Покажите по кинематической схеме кинематическую цепь, используемую при нарезании метрической и модульной резьб.
7. Покажите по кинематической схеме кинематическую цепь, используемую при нарезании точных резьб.

РАБОТА №5
РАСЧЕТ НАСТРОЙКИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦОМ

Задание. Рассчитать передаточное число $i_г$ и числа зубьев гитары сменных колес *a, b, c, d* и числа зубьев колес механизма Нортона для нарезания метрической и дюймовой резьбы на токарно-винторезном станке. Для гитары выполнить проверку по условию сцепляемости.

Исходные данные:

$P_{мр}$ − шаг метрической резьбы; мм; $P_{хв}$ − шаг ходового винта, мм; n − число ниток на дюйм для дюймовой резьбы; C − постоянная кинематической цепи; $K_{нр}$ – число заходов нарезаемой резьбы. Исходные данные приведены в табл.10. Число заходов нарезаемой резьбы для всех вариантов принимается равным 1.

Теоретические сведения. Одной из функций токарно-винторезного станка является нарезание резьбы резцом. Кинематическая цепь, служащая для настройки токарно-винторезного станка на нарезание резьбы резцом, является внутренней цепью и связывает вращение шпинделя и перемещение суппорта. Для нарезания резьбы нужно, чтобы при повороте шпинделя на один оборот суппорт с резцедержателем переместились на ход резьбы, равный $P_{мр}{\cdot}K_{нр}$. Ходовой винт, сообщающий резцу прямолинейное движение через разъемную гайку, получает вращение от шпинделя через гитару сменных колес (рис. 15) или механизм Нортона (рис. 16).

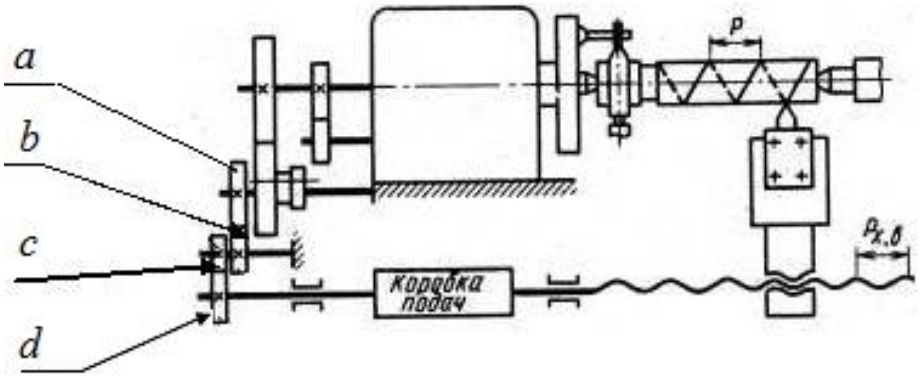


Рис. 15. Резьбонарезная цепь токарно-винторезного станка:
a, b, c, d − числа зубьев колес гитары

Расчет гитары сменных колес для нарезания метрической резьбы производится по формуле

$$1\text{об. шп} \times \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times C_{\text{кц}} \times P_{\text{хв}} = P_{\text{нр}}.$$

Расчет гитары сменных колес для нарезания дюймовой резьбы производится по формуле

$$1\text{об. шп} \times \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times C_{\text{кц}} \times P_{\text{хв}} = P_{\text{нр}} = \frac{25}{n}.$$

Шестиступенчатый механизм Нортона служит для настройки токарно-винторезного станка на нарезание резьбы резцом.

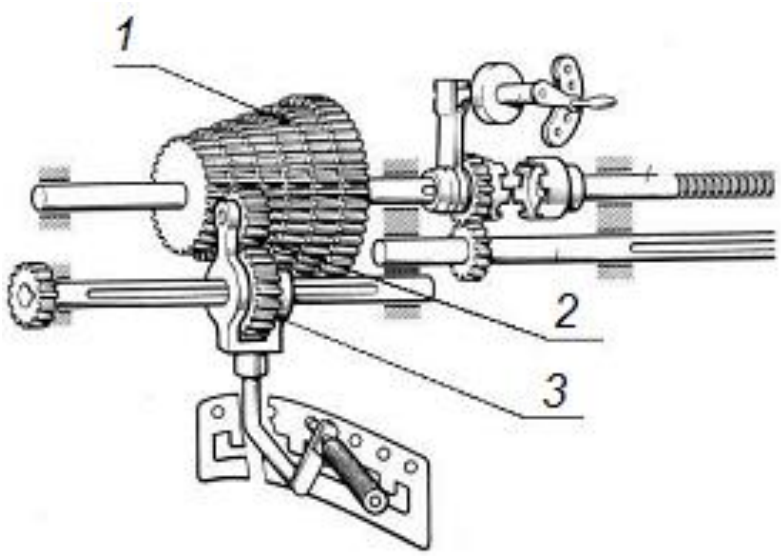


Рис. 16. Механизм Нортона:
1– блок зубчатых колес; *2* – паразитное колесо; *3* – передвижное колесо

Он состоит из конусного блока зубчатых колес *1*, которые могут последовательно входить в зацепление с передвижным колесом *3* через паразитное колесо *2* и множительного механизма, служащего для увеличения диапазона шагов нарезаемой резьбы. При настройке механизма Нортона на нарезание метрической и модульной резьбы ведущим является конусный блок колес, на нарезание дюймовой резьбы – подвижное колесо.

Для расчета параметров настройки механизма Нортона следует определить номер ступени механизма Нортона, передаточное число множительных передач, ведомое и ведущее звенья механизма Нортона (табл. 9).

Таблица 9

Данные к расчету механизма Нортона

Номер ступени	Передаточное отношение множительных передач								
	Метрическая резьба			Модульная резьба			Дюймовая резьба		
	1 : 2	1 : 1	2 : 1	1 : 2	1 : 1	2 : 1	1 : 2	1 : 1	2 : 1
1	1	2	4	1	2	4	16	8	4
2	□	□	4,5	□	2,25	4.5	18	9	□
3	1,25	2,5	5	1,25	2,5	5	20	10	5
4	□	□	5,5	□	2,75	5,5	□	11	□
5	1,5	3	6	1,5	3	6	24	12	6
6	1,75	3,5	7	1,75	3,5	7	28	14	7

Значения шагов по вертикали можно получить переключением механизма Нортона, а по горизонтали – переключением множительного механизма. Механизм Нортона можно рассчитать по любому столбцу табл. 9 в том случае, если задана постоянная кинематической цепи C по формуле

$$Z = C \cdot K_{нр} \cdot P_{нр} .$$

Пример при $C = 8$ по третьему столбцу для метрической резьбы:

$Z_1 = 8 \cdot 1 \cdot 4 = 32$ $Z_2 = 8 \cdot 1 \cdot 4{,}5 = 36$

$Z_3 = 8 \cdot 1 \cdot 5 = 40$ $Z_4 = 8 \cdot 1 \cdot 5{,}5 = 44$

$Z_5 = 8 \cdot 1 \cdot 6 = 48$ $Z_6 = 8 \cdot 1 \cdot 5{,}5 = 56$

Число зубьев подвижного колеса принимается равным числу зубьев первого колеса конического блока колес.

Шаги нарезаемой резьбы:

1) для модульной резьбы $P_{нр} = m \cdot \pi$;

2) для дюймовой резьбы $P_{нр} = 1 / n \cdot K_{нр}$.

Таблица 10

Исходные данные для расчета настройки токарно-винторезного станка на нарезание резьбы резцом

Вариант	$P_{нр}$	$P_{хв}$	C	n
1	1	4	6	4
2	2	2	8	5
3	3	5	10	6
4	4	6	12	7
5	5	8	14	8
6	1,5	2	16	9
7	2,5	5	20	10
8	3.5	4	26	11
9	4,5	6	30	12
10	5,5	8	34	14
11	6	4	36	16
12	7	5	40	18
13	1,25	4	6	20
14	1,75	6	8	6
15	2,25	8	10	7
16	2,75	4	12	8
17	1,5	2	14	9
18	1,25	2	16	10
19	1	5	20	11
20	2	6	26	12
21	3	8	30	14
22	3,5	4	34	16
23	4,5	2	36	18
24	6	6	40	20

РАБОТА №6
РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ И ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ ГИТАРЫ СМЕННЫХ КОЛЕС

Задание. Для заданных в виде десятичной дроби передаточных отношений рассчитать числа зубьев двухпарной гитары сменных колес методом подбора, методом непрерывных дробей и методом Кнаппе. Определить относительную погрешность расчетного передаточного отношения.

Исходные данные:

i_1 – передаточное отношение для расчета методом подбора, i_2 – для расчета методом непрерывных дробей, i_3 – для расчета методом Кнаппе. Исходные данные приведены в табл. 11.

Теоретические сведения. Наборы сменных зубчатых колес, прилагаемые к металлорежущим станкам, содержат колеса с различными числами зубьев, в том числе колеса с простыми числами зубьев и колеса с числами зубьев, кратными простым.

Число зубьев сменных колес гитары равняется 20, 23, 24, 25, 30, 34, 40, 41, 43, 45, 47, 50, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 67, 70, 71, 73, 74, 79, 80, 83, 85, 89, 92, 95, 97, 98, 100.

При подборе сменных зубчатых колес полученное передаточное отношение гитары сменных колес преобразуется таким образом, чтобы числитель и знаменатель дроби представляли собой числа, соответствующие набору чисел зубьев сменных колес гитары. Используют три метода подбора чисел зубьев сменных колес: метод непосредственного подбора, метод непрерывных дробей, метод Кнаппе.

1) Метод непосредственного подбора чисел зубьев.

Передаточное отношение представляет собой дробь, числитель и знаменатель которой есть целые числа. В этом случае числитель и знаменатель раскладываются на множители и полученные множители заменяются кратными им числами зубьев. Пример для $i = 48 : 75$:

$$\frac{48}{75} = \frac{24 \cdot 2}{15 \cdot 5}.$$

Введем дополнительные множители:

$$\frac{48}{75} = \frac{24 \cdot 2 \cdot 30}{15 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 10} = \frac{24 \cdot 46}{45 \cdot 40}.$$

Таким образом, получаем следующие числа зубьев гитары сменных колес: $a = 24$; $b = 60$; $c = 45$; $d = 50$.

Таблица 11

Исходные данные для расчета чисел зубьев сменных колес методом подбора, непрерывных дробей и методом Кнаппе

Вариант	i_1	i_2	i_3
1	45 : 36	47 : 37	211 : 435
2	36 : 45	37 : 47	125 :633
3	24 : 48	23 : 51	127 : 525
4	25 : 54	29 : 53	231 : 459
5	20 : 44	19 : 47	321 : 787
6	18 : 28	19 : 29	121 : 239
7	56 : 80	57 : 83	239 : 891
8	58 : 60	51 : 61	159 : 677
9	60 : 58	61 : 59	143 : 581
10	68 : 100	67 : 101	137 : 435
11	75 : 55	73 : 59	155 : 837
12	54 : 62	51 : 67	211 : 493
13	24 : 52	23 : 57	115 :633
14	24 : 44	17 : 37	127 : 523
15	25 : 54	11 : 17	241 : 459
16	20 : 48	11 : 19	321 : 789
17	18 : 28	19 : 87	121 : 233
18	56 : 82	37 : 79	239 : 891
19	58 : 64	59 : 111	159 : 677
20	38 : 48	37 : 93	143 : 571
21	22 : 46	13 : 29	137 : 435
22	46 : 80	59 : 87	157 : 837
23	42 : 50	17 : 51	163 : 459
24	16 : 28	19 : 107	187 : 671

2) Метод непрерывных дробей.

Применяется в том случае, если непосредственный подбор невозможен. Метод непрерывных дробей заключается в последова-

тельном разложении заданного простой дробью передаточного отношения и последовательного отбрасывания второго слагаемого знаменателя.

Пример для $i = 37 : 47$.

$$\frac{37}{47} = \frac{1}{1+\frac{10}{37}} = \frac{1}{1+\frac{1}{3+\frac{7}{10}}} = \frac{1}{1+\frac{1}{3+\frac{1}{1+\frac{3}{7}}}} = \frac{1}{1+\frac{1}{3+\frac{1}{1+\frac{1}{2+\frac{1}{3}}}}}.$$

Отбрасывая последовательно второе слагаемое, в знаменателе можно получить ряд дробей, близких к передаточному отношению. Чем меньше отброшено слагаемых, тем меньше погрешность передаточного отношения. Отбросив $\frac{1}{3}$, получим дробь $\frac{11}{14}$, отбросив $\frac{1}{2+\frac{1}{3}}$, получим дробь $\frac{4}{5}$ и т. д.

Полученная дробь позволяет подобрать сменные колеса из набора способом непосредственного подбора.

3) ***Метод Кнаппе***.

Дробь, выражающая передаточное отношение, превращается в произведение двух дробей, из которых первая – близкая к заданной, с небольшими числами в числителе и знаменателе, а вторая – близкая к единице. Тогда вторую дробь можно изменять, прибавляя или вычитая из числителя и знаменателя одинаковые числа до тех пор, пока числитель и знаменатель не будут разлагаться на первоначальные множители. Пример для передаточного отношения 211 : 635:

$$\frac{211}{635} = \frac{1 \cdot 633}{3 \cdot 635} = \frac{1 \cdot 630}{3 \cdot 632} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 79} = \frac{3 \cdot 35}{4 \cdot 79}.$$

Метод непрерывных дробей и метод Кнаппе являются приближенными методами подбора чисел зубьев сменных колес. Погрешность подбора можно оценить по фактическому $I_{\text{Факт}}$и расчетному $I_{\text{расч}}$ передаточным отношениям по формуле

$$\delta = |(I_{\text{Факт}} - I_{\text{расч}}) / I_{\text{Факт}}| \cdot 100\% \le [\delta] = 0{,}1\ \%\ ,$$

где $[\delta]$ – допускаемая погрешность передаточного отношения.

Подобранные числа зубьев сменных зубчатых колес должны удовлетворять условию зацепляемости:

$$a + b \ge c + (15 \ldots 20);\ \ c + d \ge b + (15 \ldots 20).$$

Если условие зацепляемости не выполняется, производится повторный расчет чисел зубьев сменных колес.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА НА ФРЕЗЕРОВАНИЕ РЕЗЬБЫ ДИСКОВОЙ ФРЕЗОЙ

Теоретические сведения. Резьбофрезерные станки предназначены для обработки наружной резьбы различных видов и параметров. Фрезерование резьбы ведется дисковыми и групповыми фрезами (рис. 17). Резьбофрезерная кинематическая цепь резьбофрезерных станков обеспечивает согласованное вращение заготовки и продольное перемещение дисковой фрезы.

а *б*

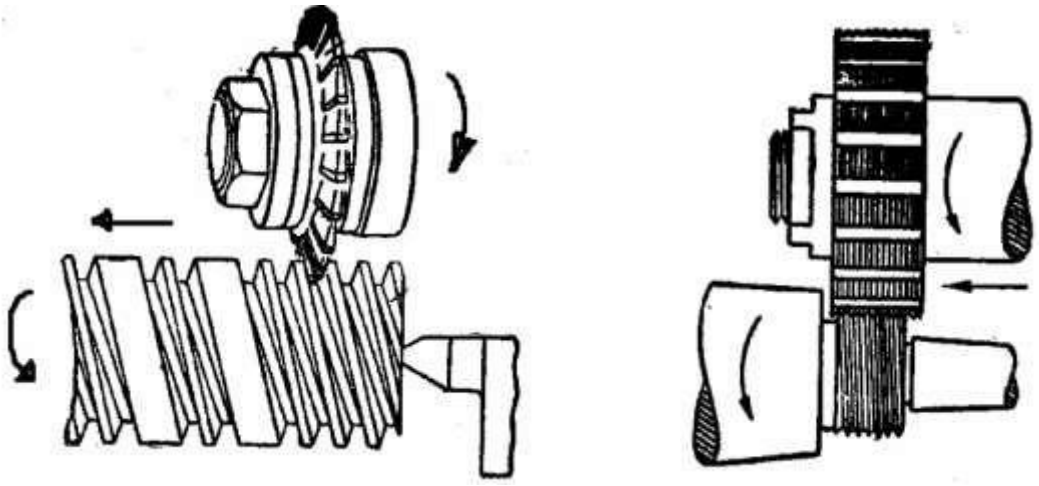


Рис. 17. Обработка резьбы на резьбофрезерных станках:
а – фрезерование дисковой фрезой; *б* – фрезерование групповой фрезой

При групповом фрезеровании резьбофрезерная цепь обеспечивает согласованное вращение фрезы и вращение заготовки.

По кинематической схеме резьбофрезерного станка нужно составить уравнения кинематического баланса и формулы его настройки на нарезание:

- резьбы метрической со стандартным шагом;
- резьбы метрической с нестандартным шагом.

Кинематическая схема резьбофрезерного станка приведена на рис. 18.

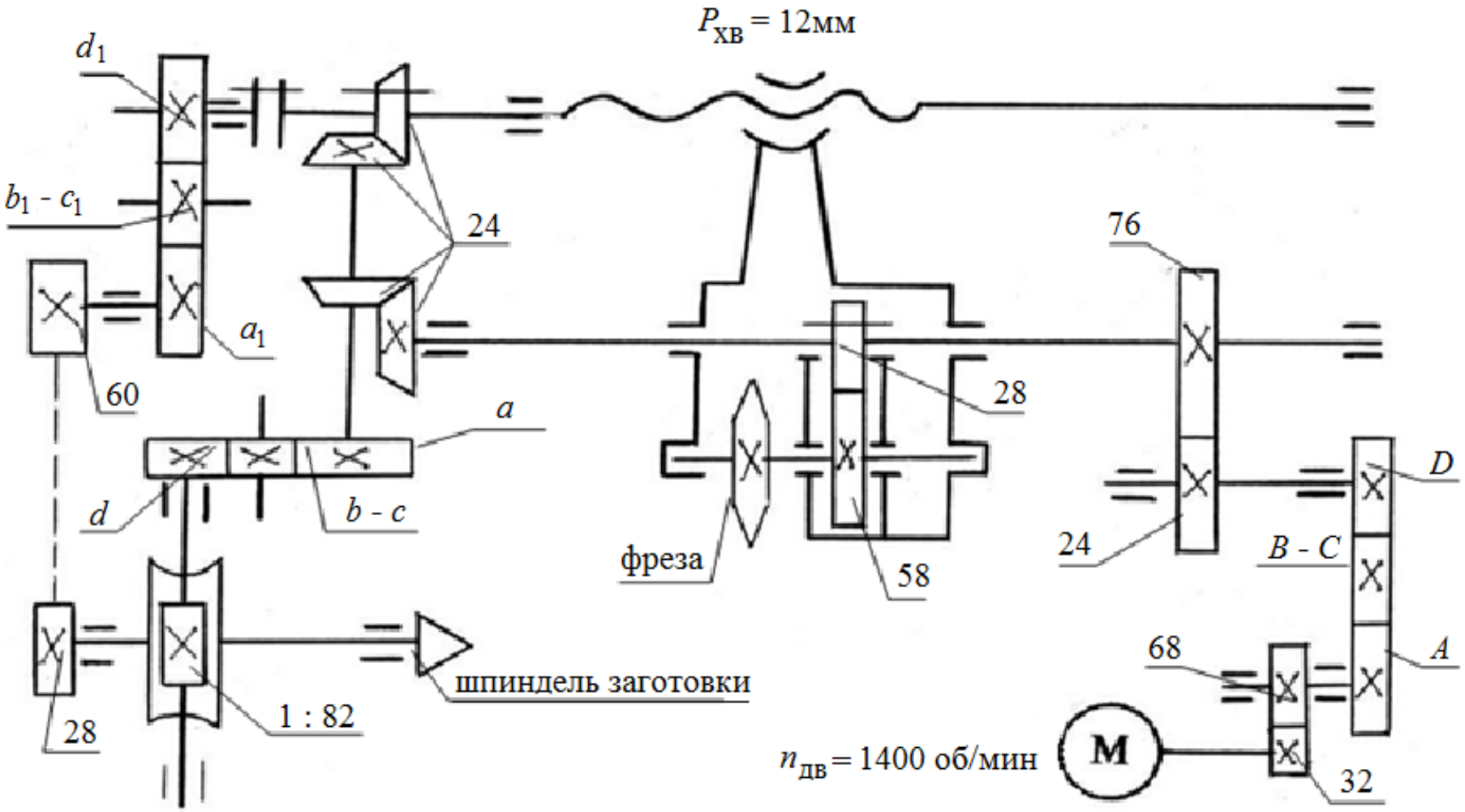


Рис. 18. Кинематическая схема резьбофрезерного станка:
A, B, C, D – сменные колеса гитары главного движения; *a, b, c, d* – сменные колеса гитары круговой подачи заготовки;
a_1, b_1, c_1, d_1 – сменные колеса гитары продольной подачи суппорта.

Основные кинематические цепи резьбофрезерного станка

1. Кинематическая цепь главного движения, которая служит для передачи движения от электродвигателя через коробку скоростей на фрезу:

$$n_{дв} \cdot \ldots = n_{фр},$$

где $n_{фр}$ – число оборотов фрезы, об/мин.

2.Кинематическая цепь круговой подачи заготовки $S_{кр.}$, которая служит для передачи движения от фрезы к заготовке через механизм конического реверса, коробку подач или гитару сменных колес. Последняя используется при настройке станка на нарезание резьбы со стандартным шагом:

$$1 \text{ об/фр} \cdot \ldots = S_{кр.},$$

где $S_{кр}$– круговая подача заготовки, мм/об.

3.Кинематическая цепь продольной подачи фрезерного суппорта $S_{пр}$ при нарезании резьбы с нестандартным шагом, которая служит для передачи движения от заготовки через двупарную гитару сменных зубчатых колес a_1: d_1 на ходовой винт подачи фрезерного суппорта:

$$1 \text{ об/заг} \cdot \ldots \cdot P_{хв} = S_{пр} = t_{нр},$$

где $P_{хв}$ – шаг ходового винта продольной подачи фрезерного суппорта, мм; $t_{нр}$ – шаг нарезаемой резьбы, мм; $S_{пр}$– продольная подача фрезерного суппорта, мм.

Задание. Рассчитать параметры настройки резьбофрезерного станка на фрезерование резьбы со стандартным шагом (передаточное число гитары главного движения A :D, гитары подач a : d и нестандартным шагом (передаточное число гитары резьбонарезной цепи a_1: d_1).

Исходные данные:

$S_{кр}$ – величина круговой подачи заготовки, мм/об; $t_{нр.ст}$ – стандартный шаг резьбы, мм; $t_{нр.нст}$– нестандартный шаг резьбы, мм; $n_{фр}$ – число оборотов фрезы, об/мин. Исходные данные приведены в табл. 12.

Таблица 12

Исходные данные для расчета параметров настройки резьбофрезерного станка

Вариант	$t_{нр.ст.}$, мм	$t_{нр.нст.}$, мм	$S_{кр}$, об/мин	$n_{фр}$, об/мин
1	1,5	3,4	0,5	55
2	2	2,6	0,6	80
3	2,5	3,6	0,8	115
4	3	2,8	0,9	165
5	3,5	4,7	1	240
6	4	4,8	1,2	55
7	4,5	3,9	1,4	80
8	5	5,1	1,5	115
9	6	5,3	1,6	165
10	8	5,6	1,7	240
11	10	6,3	1,8	55
12	1,5	6,7	1,9	80
13	2	6,8	2,0	115
14	2,5	8,1	1,2	165
15	3	8,2	1,4	240
16	3,5	8,4	1,5	55
17	4	8,6	1,6	80
18	4,5	4,8	1,7	115
19	5	5,9	1,8	165
20	6	6,9	1,9	240
21	8	7,2	2,0	80
22	10	8,3	1,8	115
23	8	2,7	2,1	55
24	6	4,3	1,7	165

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8
РАСЧЕТ КУЛИСНОГО МЕХАНИЗМА

Задание. Определить частоту вращения кривошипа однокулисного привода поперечно-строгального станка.

Исходные данные:

$V_р$ − горизонтальная скорость ползуна, м/мин; $О_1П_1$ − радиус кривошипа, мм; *a, b* − размеры кулисного привода, мм.

Исходные данные приведены в табл. 13.

Теоретические сведения. В поперечно-строгальных станках применяется вариант кулисного механизма, представленный на рис. 19.

Механизм качающейся кулисы ОВ (рис. 19.) имеет кривошипный диск (кулисное колесо $Z = 107$), снабжённый пальцем П, который можно перемещать в радиальном направлении по торцу колеса для изменения длины хода ползуна *l*. То есть изменение длины кривошипа $О_1П_1$ приводит к пропорциональному изменению величины *l*. На пальце П свободно сидит кулисный камень $К_К$. При вращении кривошипного диска камень $К_К$ перемещается вдоль прорези кулисы ОВ, которая качается на неподвижной оси О. Верхним концом кулиса шарнирно соединена с ползуном. Совершая качательное движение, кулиса ОВ сообщает ползуну возвратно-поступательное движение. Это движение передаётся ползуну через гайку на винте; вращением винта можно изменять зону строгания.

Механизм качающейся кулисы сообщает ползуну движение вперёд (рабочий ход $V_Р$) и более быстрое движение в обратном направлении (холостой ход $V_х$). Палец П, равномерно вращаясь, описывает при рабочем ходе ползуна дугу, соответствующую углу α, а при холостом ходе ползуна – дугу, соответствующую углу β, причём всегда α> β.

Как видно из диаграммы скоростей (рис. 20), ползун непрерывно изменяет свою скорость движения от нуля до максимума и вновь до нуля. Так как угол α больше угла β, а путь, пройденный ползуном вперёд и назад одинаков, то при равномерной скорости вращения кривошипа *V* значения мгновенных скоростей рабочего и холостого хода существенно различаются.

Следует отметить, что неравномерность рабочего хода ползуна приводит к снижению производительности обработки, переменности-

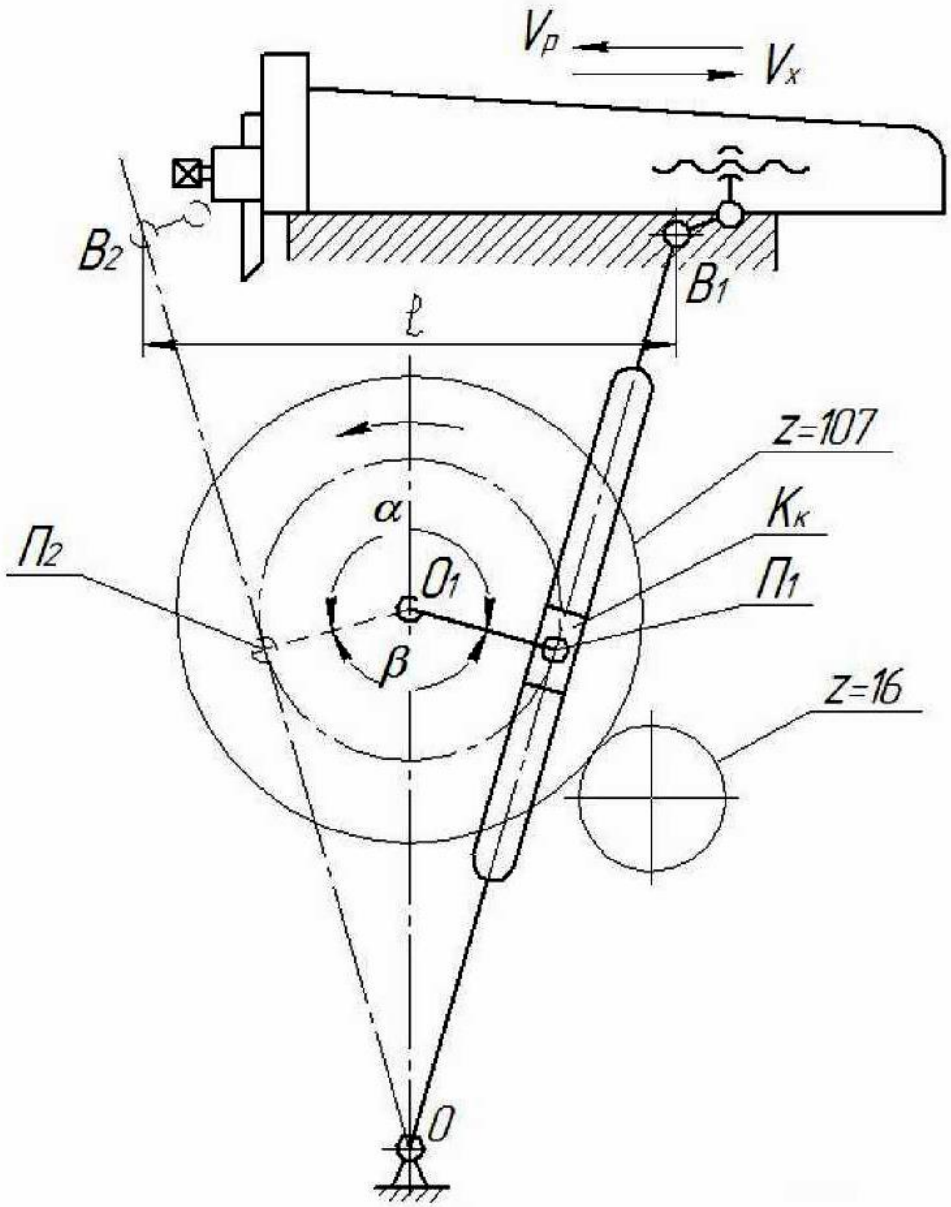


Рис. 19. Схема кривошипно-кулисного привода ползуна

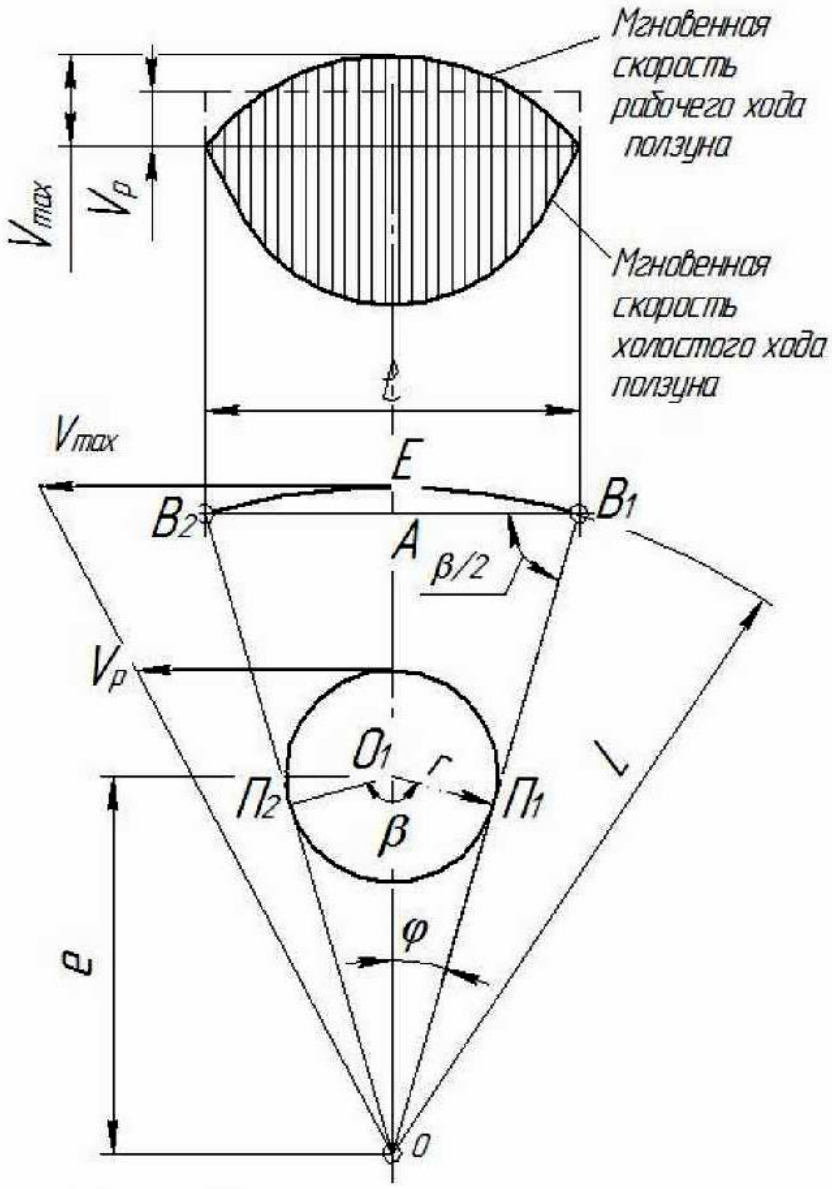


Рис. 20 . Диаграмма скорости ползуна

сил резания, упругим отжатиями, как следствие, снижению точности обрабатываемой заготовки.

Принцип действия кулисного механизма известен из курса теории машин и механизмов.

Для определения частоты вращения кривошипа привода можно применить следующую методику:

1. Определить скорость шарнира $B(V_B)$ используя терему о проекциях скоростей 2-х точек твердого тела

$$V_B \cdot \cos\alpha = V_\text{р} \Rightarrow \quad V_B = \frac{V_\text{р}}{\cos\alpha},$$

где α найти из $\triangle O_1П_1O$, используя теорему косинусов и синусов.

2. Определить угловую скорость(ω_2) кулисы ОВ

$$\omega_2 = \frac{V_\text{П}}{\text{ОВ}}.$$

3. Определить линейную скорость кулисного камня К($V_\text{К}$).

$$V_\text{К} = \omega_2 \cdot \text{ОП}_1,$$

где ОП_1 –расстояние от кулисного камня до оси вращения камня, определяемое исходя из положения механизма согласно исходным данным.

4. Определить угловую скорость кривошипа (ω_1).

$$\omega_1 = \frac{V_{\text{П}1}}{\text{O}_1\text{П}_1}.$$

5. Для ответа на вопрос задачи представить угловую скорость кривошипа $O_1П_1$из рад/с в об/мин.

Для этого воспользоваться следующей формулой

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30},$$

где n – частота вращения кривошипа ОП.

Пример. Для кулисного механизма поперечно-строгального станка (рис. 21) длиной кривошипа$O_1П(R)$ = 0,1 м, a= 0,2 м и ОП= 0,4 м определить частоту вращения кривошипа ω_1 для заданного положения механизма, если β = 120°, скорость резца (ползуна) 50 м/мин.

1. Изобразим механизм в заданном положении (Рис. 21) согласно исходных данных (табл. 13) (в масштабе).

2. Определим величину ОП_1 используя теорему косинусов.

$$\text{ОП}_1 = \sqrt{R^2 + a^2 - 2aR\cos 60°} \quad \text{ОП}_1 = 0{,}113 \text{ м}.$$

3. По теореме синусов определим неизвестный угол α

$$\frac{R}{\sin\alpha} = \frac{\text{ОП}_1}{\sin\beta}$$

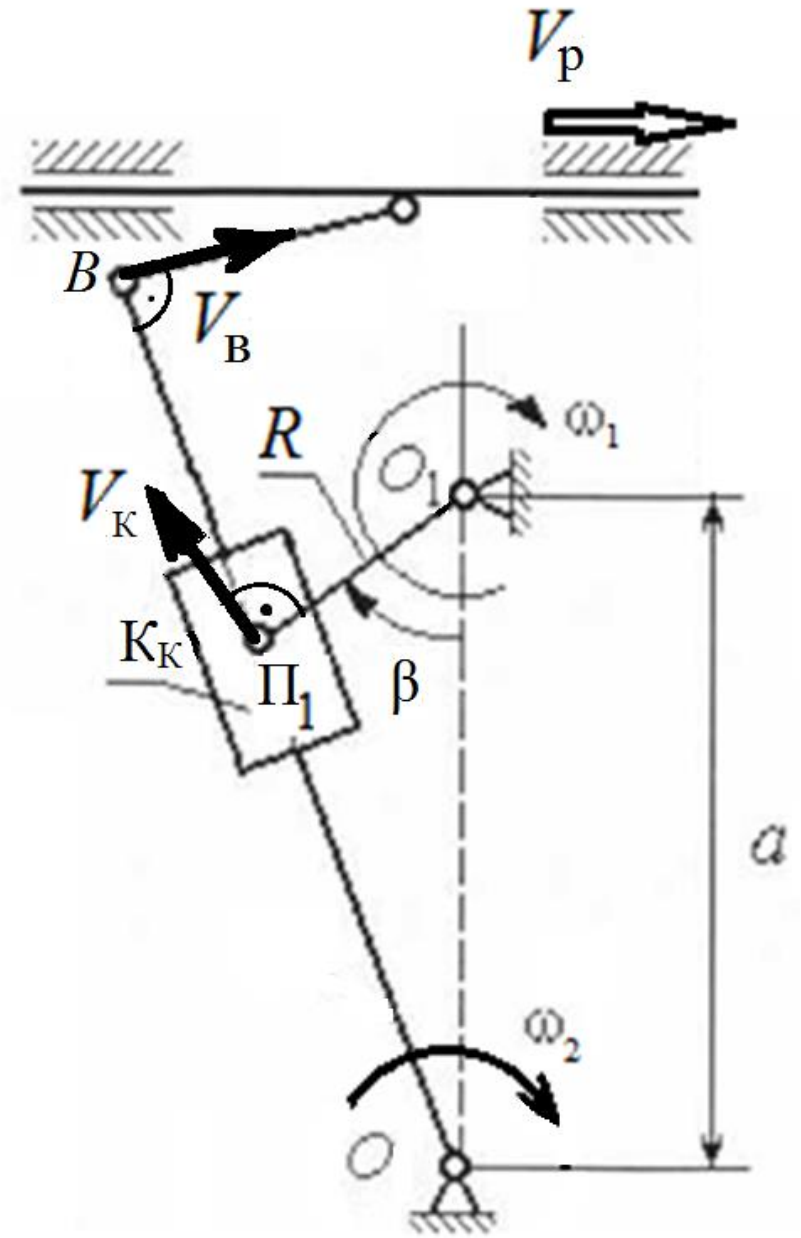


Рис. 21.Кулисныймеханизм поперечно-строгального станка

$$\sin\alpha = \frac{\sin\beta \cdot R}{OA_1} = \frac{\sin 60° \cdot 0{,}1}{0{,}113} = 0{,}501 \Rightarrow \alpha = \arcsin 0{,}501 = 30°.$$

4. Определим скорость шарнира *B* в м/с

$$V_B = \frac{V_р}{\cos\alpha} = \frac{0{,}83}{\cos 19{,}14°} = 0{,}96 \text{ м/с}.$$

5. Далее определим угловую скорость кулисы ОВ.

$$\omega_2 = \frac{V_р}{OB} = \frac{0{,}88}{0{,}4} = 2{,}4 \text{ м/с}.$$

6. Определим линейную скорость кулисного камня $К_К$

$$V_К = \omega_2 \cdot ОП_1 = 2{,}2 \cdot 0{,}264 = 0{,}42 \text{ м/с},$$

7. Определить угловую скорость кривошипа (ω_1) 1.

$$\omega_1 = \frac{V_К}{R} = \frac{0{,}42}{0{,}1} = 4{,}2 \text{ рад/с}.$$

8. Определим частоту вращения кривошипа n. Переводим рад/с в об/мин

$$\omega_1 = \frac{\pi n}{30} \Rightarrow n = \frac{30\omega_1}{\pi} = 40{,}1 \text{об/мин}$$

Ответ: частота вращения кривошипа n = 40,1 об/мин.

Таблица13

Размеры кулисного привода и скорость движения ползуна

Вариант	$V_р$, м/мин	$O_1П(R)$, мм	a, мм	ОВ, мм	β, град
1	50	150	200	400	120
2	50	100	150	200	150
3	50	90	150	200	135
4	10	80	150	200	140
5	10	60	120	180	90
6	10	200	150	300	120
7	20	180	180	300	150
8	20	160	100	240	135
9	20	300	150	200	140
10	20	200	120	240	90
11	40	100	100	300	120
12	40	90	150	200	150
13	40	60	150	200	135
14	50	100	180	360	140
15	50	90	150	300	90
16	50	80	150	200	120
17	10	150	180	260	150
18	10	150	150	200	135
19	10	200	120	200	140
20	20	190	100	200	90

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Задача 1. На рис. 22 дана схема простейшей передачи вращения от электродвигателя к шпинделю токарного станка. На схеме указаны диаметры всех шкивов и число оборотов в минуту электродвигателя.

Подсчитать число оборотов шпинделя при всех четырех положениях ремня на ступенчатом шкиве.

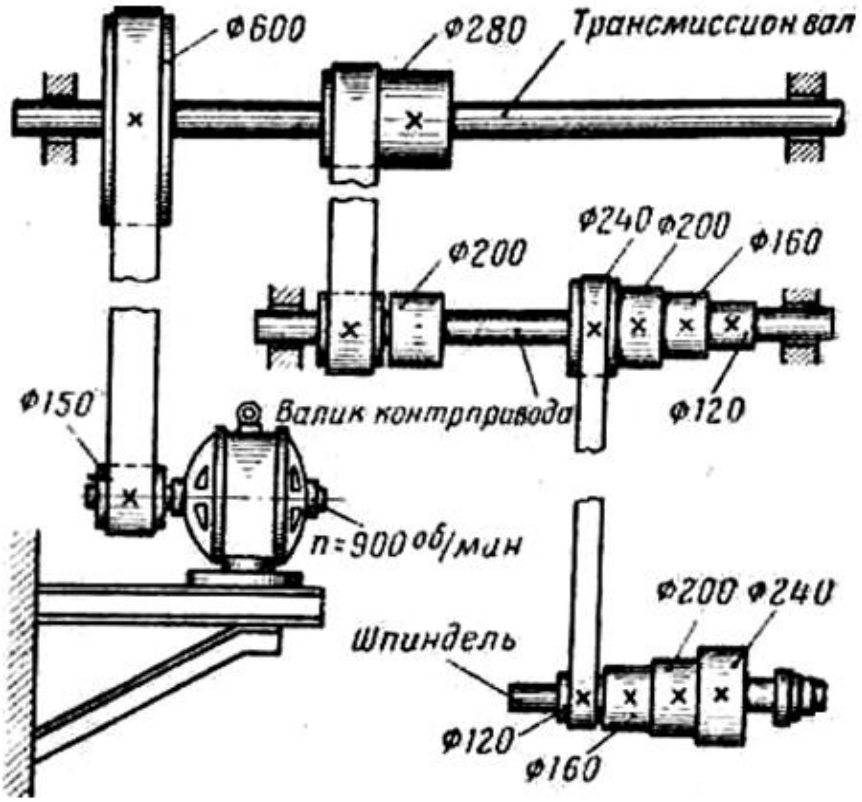


Рис. 22. Схема передачи вращения от электродвигателя к шпинделю токарного станка

Задача 2. На рис. 23 дана схема двойного перебора. При включении первого перебора передача идет через зубчатые колеса$z_4 – z_1 – z_3 – z_6$, а при включении второго перебора – через зубчатые колеса $z_5 – z_2 – z_3 – z_6$. Без перебора шпиндель имеет n_1 = 315 об/мин, n_2 = 210 об/мин,n_3 = 140 об/мин.

Определить:

1) числа оборотов шпинделя n_4, n_5, n_6 при включенном первом переборе;
2) числа оборотов шпинделя n_7, n_8, n_9 при включенном втором переборе.

Числа зубьев колес z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 и z_6 указаны на рис. 23.

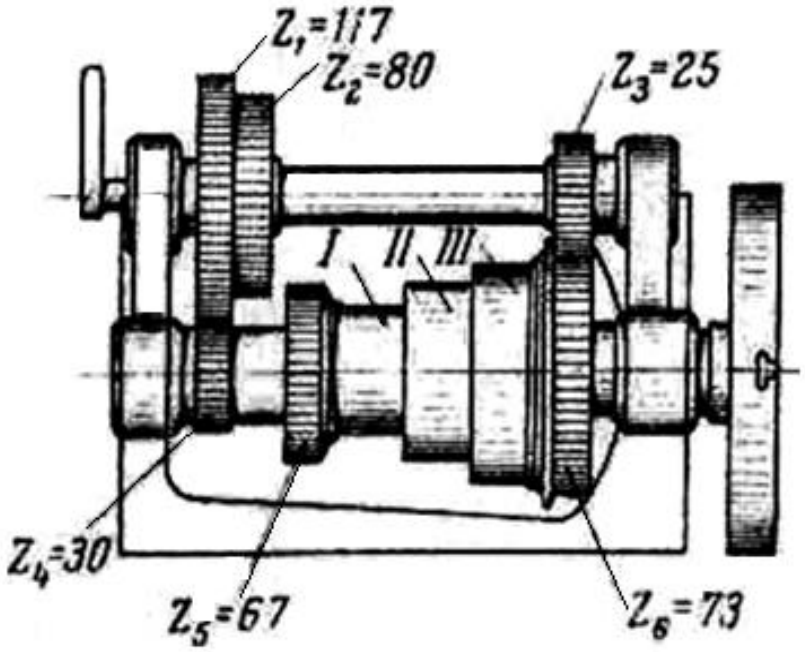


Рис. 23. Схема двойного перебора токарного станка

Задача 3. На рис. 24 дана схема тройного перебора, устройство которого позволяет сообщить шпинделю станка 15 различных скоростей:

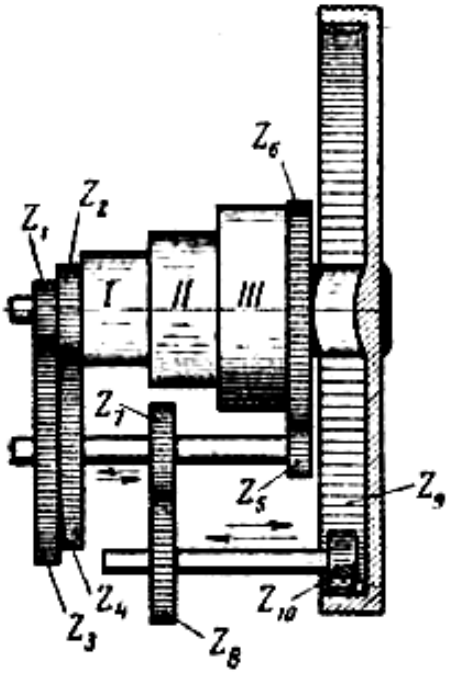


Рис. 24. Схема тройного перебора токарного станка

1) три скорости с выключенным перебором от ступенчатого шкива;
2) три скорости при включенных колесах $z_1 - z_3 - z_5 - z_6$;
3) три скорости при включенных колесах $z_2 - z_4 - z_5 - z_6$;
4) три скорости при включенных колесах $z_1 - z_3 - z_7 - z_8 - z_{10} - z_9$;
5) три скорости при включенных колесах $z_2 - z_4 - z_7 - z_8 - z_{10} - z_9$.

Подсчитать все получающиеся числа оборотов шпинделя, если дано:
1) $z_1 = 40$; $z_2 = 50$; $z_3 = 90$; $z_4 = 80$; $z_5 = 30$; $z_6 = 100$; $z_7 = 25$; $z_8 = 30$; $z_9 = 20$; $z_{10} = 100$;
2) число оборотов шпинделя при выключенном переборе:
$n_1 = 600$ об/мин, $n_2 = 320$ об/мин, $n_3 = 170$ об/мин.

Задача 4. На рис. 25 показан механизм с переключением скоростей при помощи кулачковой муфты *a*, перемещающейся по валику *I*, с которым она связана шпонкой. Колеса z_1 и z_2 вращаются на валике *I* свободно и получают вращение при сцеплении муфты *a* с муфтой *B* или же с муфтой *C*. Таким образом при перемещении муфты *a* влево вращение валика *I* передается валику *II* через колеса z_1 и z_3, а при перемещении муфты *a* вправо – через колеса z_2 и z_4.

Подобрать числа зубьев колес z_1, z_2, z_3 и z_4 так, чтобы при перемещении муфты *a* влево валик *II* вращался в три раза быстрее валика *I*, а при перемещении ее вправо – в два раза медленнее валика *I*.

Необходимо помнить, что сумма зубьев $z_1 + z_3$ должна равняться сумме зубьев $z_2 + z_4$.

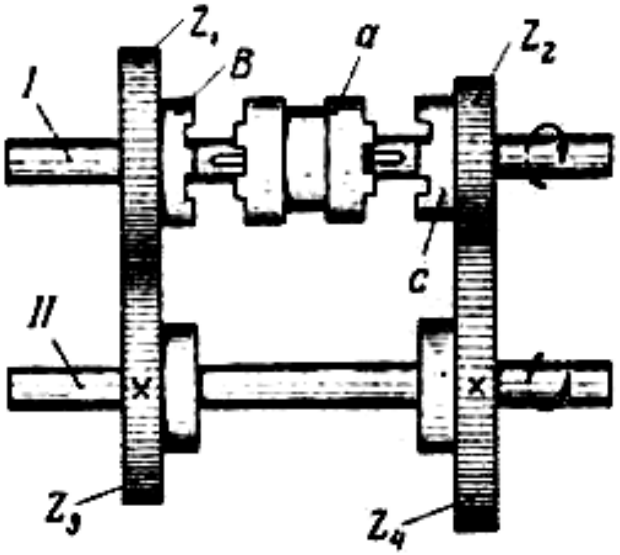


Рис. 25. Механизм переключения скоростей с помощью кулачковой муфты

Задача 5. На рис. 26 дана схема механизма для изменения (переключения) скоростей при помощи передвижной (скользящей) шпонки. На ведущем валике*I* заклинены колеса z_1, z_2, z_3 и z_4, сцепленные соответственно с колесами z_5, z_6, z_7 и z_8, которые сидят свободно на ведомом валике *II*. Каждое из последних четырех колес может быть соединено

с валиком *II* при помощи скользящей шпонки, перемещаемой рукояткой или маховиком.

Дано: $n_1 = 100$ об/мин, $z_1 = 51$, $z_2 = 43$, $z_3 = 32$, $z_4 = 22$, $z_5 = 25$, $z_6 = 33$, $z_7 = 44$, $z_8 = 54$.

Подсчитать числа оборотов ведомого валика *II* при всех четырех включениях скользящей шпонки.

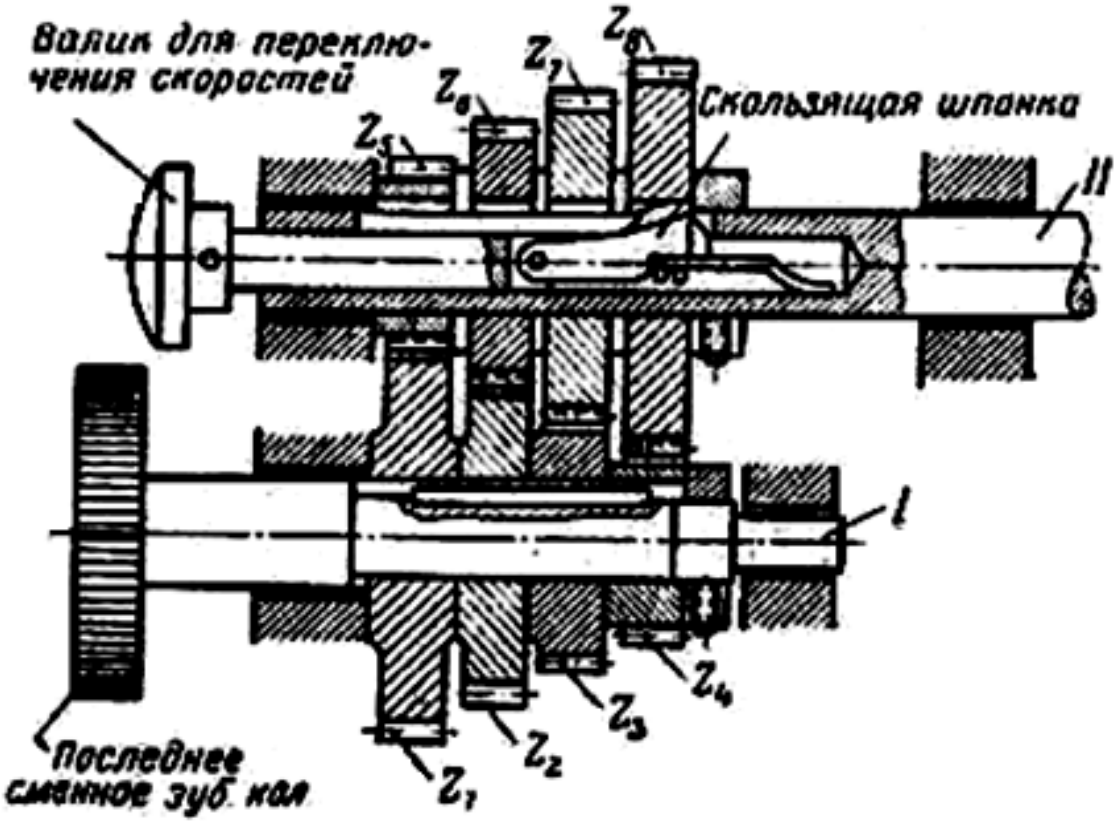


Рис. 26. Механизм переключения скоростей с помощью передвижной шпонки

Задача 6. На рис. 27, *а* дана схема сочетания двух механизмов – механизма с фрикционной муфтой и механизма с кулачковой муфтой. На рис. 27, *б* показан наружный вид этого механизма. Левая рукоятка служит для переключения фрикционной муфты *A*, а правая – для переключения кулачковой муфты *B*. При повороте рукояток влево обе муфты также перемещаются влево.

Числа зубьев колес, указанных на схеме, следующие (табл. 14):

Требуется:

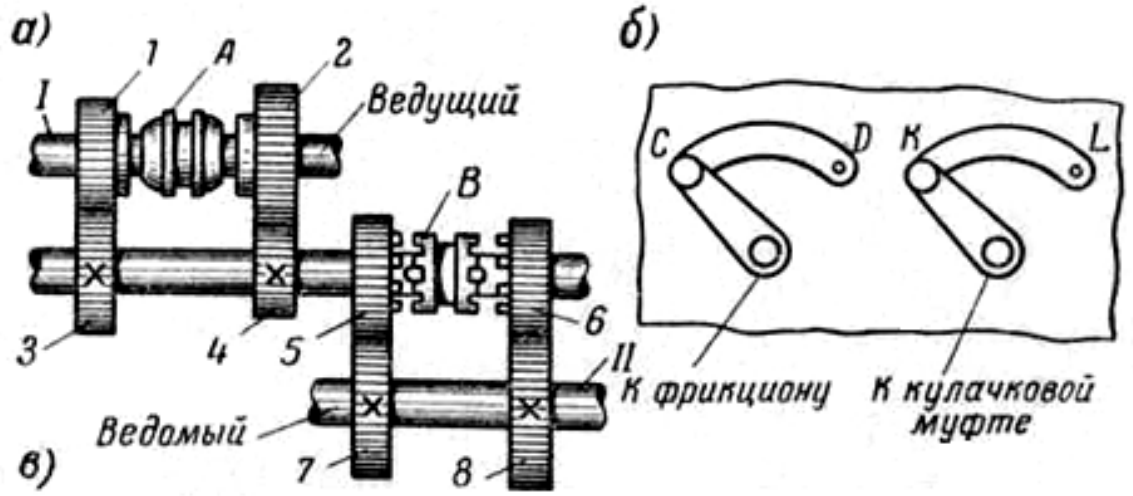
1) определить, через какие колеса идет передача при всех четырех включениях;

2) подсчитать передаточные числа, получающиеся при всех включениях;
3) определить числа оборотов ведомого валика *II* при числе оборотов валика *I* $n_1 = 200$ об/мин.

Ответы написать в форме трафаретки (рис. 27, *в*).

Таблица 14

№ колеса	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев колеса	24	32	24	16	20	25	40	35

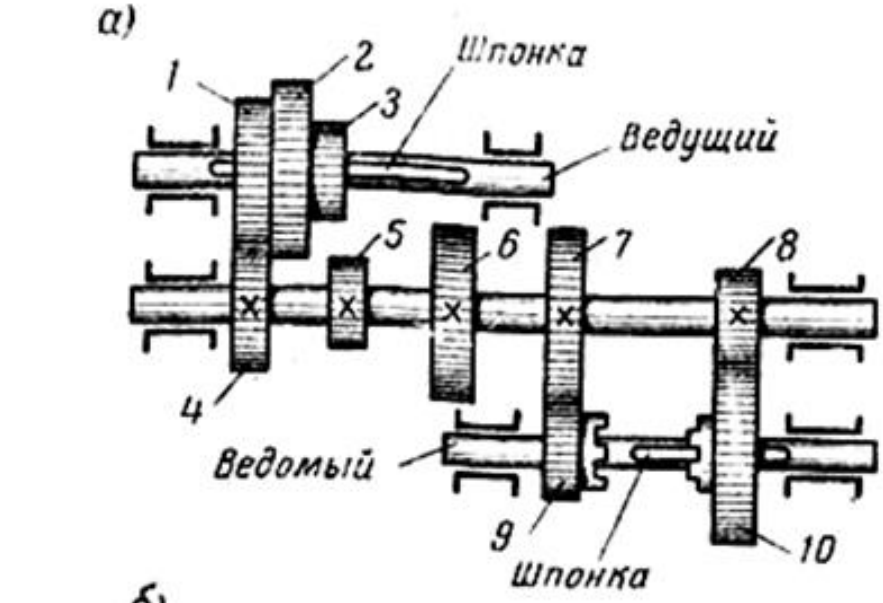


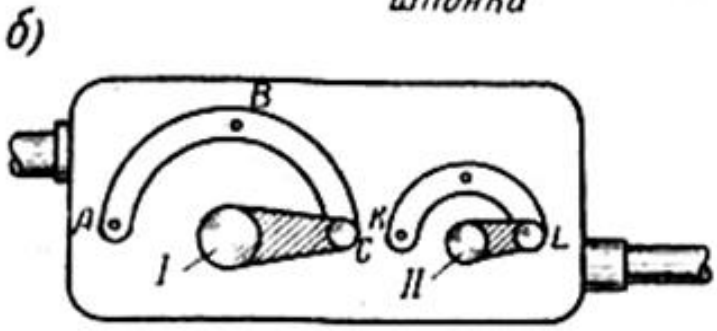
№	Положение рукояток I вариант		Передача идет через зуб. кол.	Передат. числа i	Положение рукояток II вариант		n_{II}
1			1-3-5-7	$\frac{1}{2}$	C	K	50 об/мин
2			найти	найти	C	L	найти
3					D	L	
4					D	K	

Рис. 27. Схема сочетания действия механизмов фрикционной и кулачковой муфты

Примечание. На левой стороне трафаретки положения рукояток показаны графически, а на правой – положения рукояток указаны при помощи буквенных обозначений.

Задача 7. На рис. 28, *а* дана схема коробки подач, а на рис. 66, *б* – ее наружный вид. Рукоятка *I* перемещает по ведущему валику колеса *1, 2, 3*, соединенные вместе. Рукоятка *II* перемещает по ведомому валику колесо 10 и составляющую с ней одно целое половину кулачковой муфты. Направление вращения рукояток и связанные с ними перемещения колес по валикам совпадают.





в)

Номера скоростей	Положение рукояток		Передача идет через зуб. кол.	Положение рукояток	
	I	II		I	II
1			3-6-8-10	C	L

Ответ на 1-й вопрос — Ответ на 3-й вопрос — Ответ на 2-й вопрос — Ответ на 4-й вопрос

Рис. 28. Схема коробки подач токарного станка

Требуется:

1) найти число возможных скоростей ведомого валика;

2) определить, через какие колеса идет передача при всех возможных включениях;
3) составить трафаретку с обозначением графически положений рукояток;
4) составить трафаретку с обозначением положений рукояток буквами по образцу, показанному на рис. 28, *в*.

Задача 8. На рис. 29, *а* дана схема коробки скоростей, а на рис. 29, *б* – наружный вид.

Рукоятка *I* перемещает колесо и по ведущему валику по шпонке. Рукоятка *II* перемещает колеса *5, 6, 7* по промежуточному валику по шпонке. Рукоятка *III* перемещает муфту М, сидящую на шпинделе на шпонке. Направление вращения рукояток и направление перемещения колес по валикам совпадают.

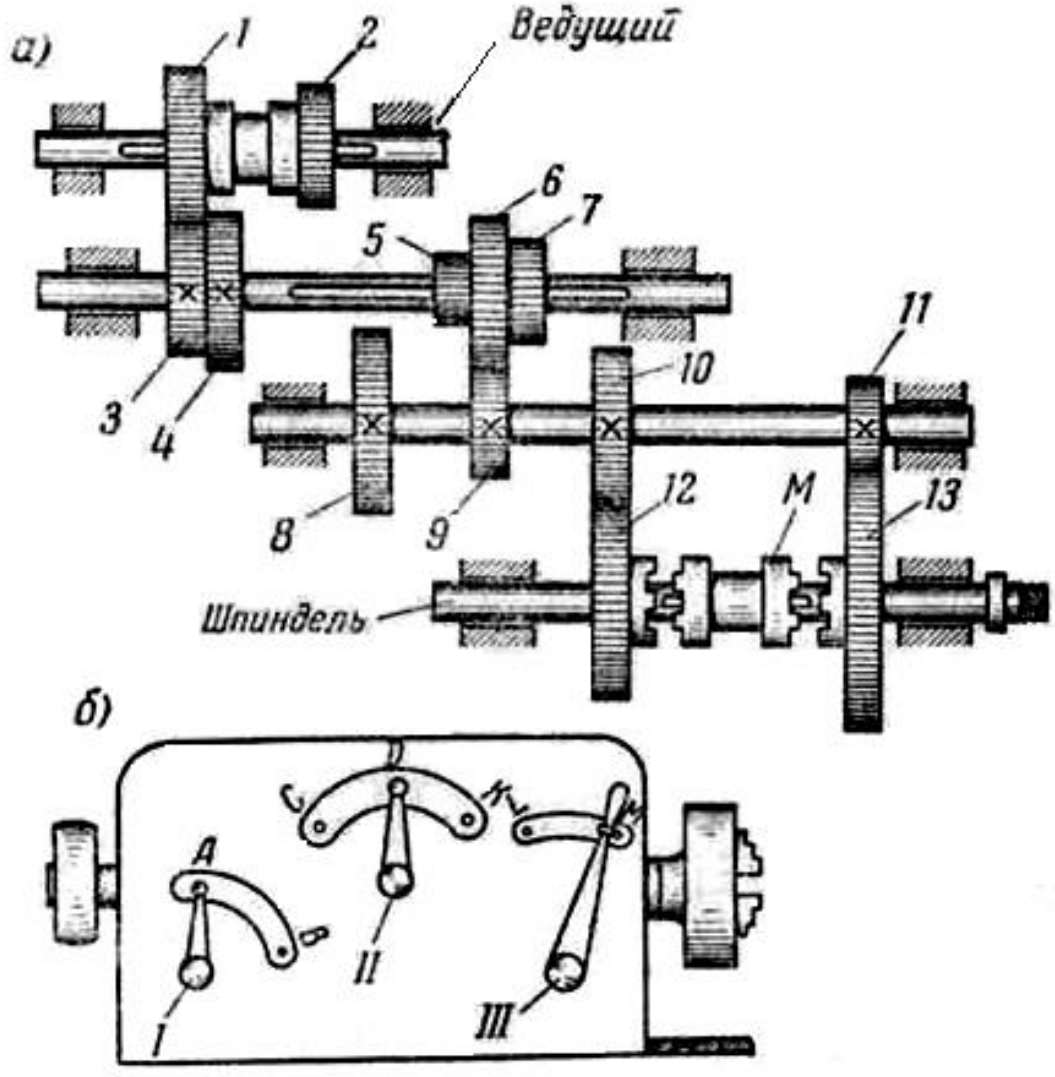


Рис. 29. Схема коробки скоростей токарного станка

Колесо	1	входит	в зацепление	с	колесом 3
	2	«	«	«	« 4
	5	«	«	«	« 8
	6	«	«	«	« 9
	7	«	«	«	« 10
Муфта *М*	«		«	с	муфтой колеса 12
«	«		«	«	« 13

Требуется:

1) найти число возможных скоростей шпинделя;
2) составить трафаретку с указанием положений рукояток графически и с буквенными обозначениями;
3) определить, через какие колеса идет передача.

Трафаретку составить по образцу, показанному на рис. 27, *в.*

Задача 9. На рис. 30, *а* дана схема коробки подач, а на рис. 30, *б* – ее наружный вид.

Рукоятка *II* служит для соединения через накидное колесо *2* зубчатого колеса *1* с колесами конуса подач *3, 4, 5, 6, 7, 8, 9* и *10*. Колесо *10* находится в постоянном зацеплении с колесом *11*. Рукоятка перемещает блок колес *16, 17, 18* и муфту *М* по ходовому валику по шпонке. Муфта *М* входит в зацепление с муфтой, соединенной с колесом *15*.Колесо *16* входит в зацепление с колесом *13*, колесо *17*– с колесом *12*, а колесо *18* – с колесом *11*.

Найти, через какие колеса идет передача при всех *32* возможных включениях коробки подач.

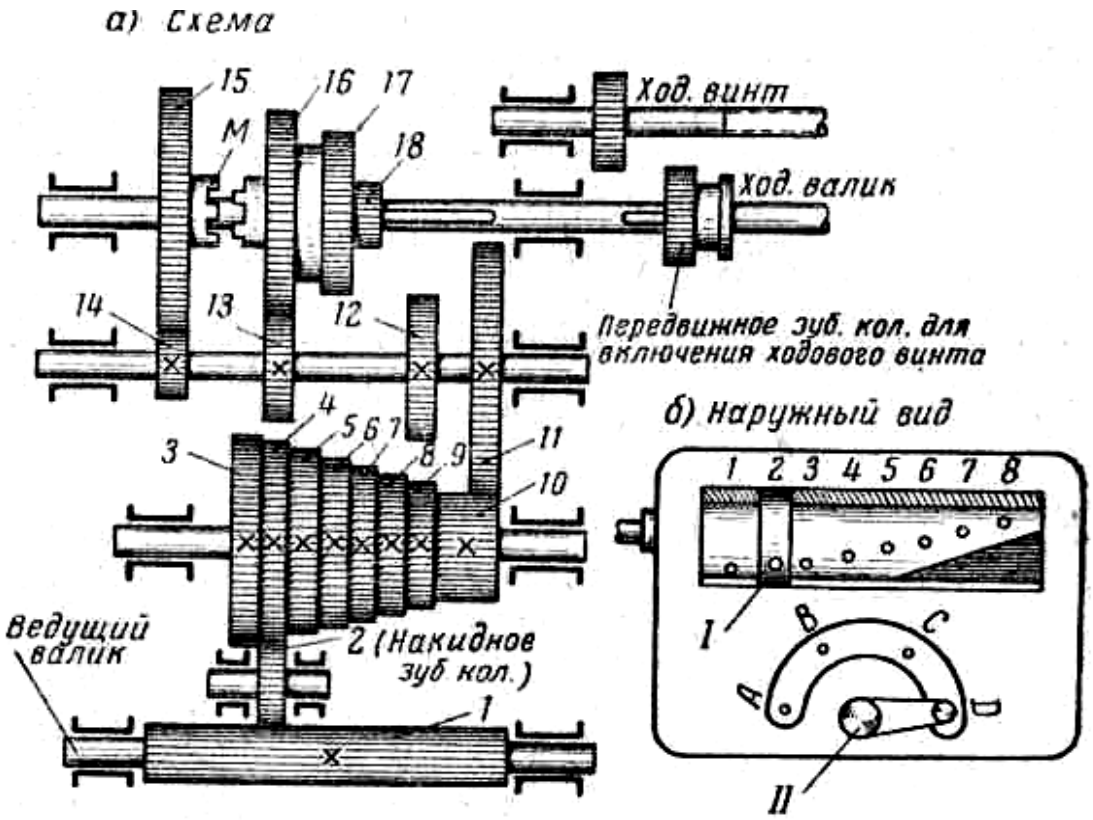
Ответ представить в виде трафаретки, показанной на рис. 27, *в*, заполнив графу: «Передача идет через колеса».

Задача 10. На рис. 31, *а* дана схема коробки скоростей токарного станка, а на рис. 31, *б* – наружный вид этой коробки.

Разобрав схему коробки, найти:

1) число возможных скоростей шпинделя;
2) составить трафаретку, показав графически положение рукояток.

При составлении трафаретки учесть, что направления вращения рукояток и направления перемещений связанных с ними муфт и колес не совпадают.



в)

№ №	Положение рукояток I	Положение рукояток II	Передача идет через зубчатое колесо
1	1	A	1-2-3-10-11-14-15-M ход. валик
2	2		и т. д.
3	3		
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		
9	1	B	
10	2		
11	3		
12	4		
13	5		
14	6		
15	7		
16	8		
17	1	C	
18	2		
19	3		
20	4		
21	5		
22	6		
23	7		
24	8		
25	1	D	
26	2		
27	3		
28	4		
29	5		
30	6		
31	7		
32	8		

Рис. 30. Схема коробки подач и ее наружного вида

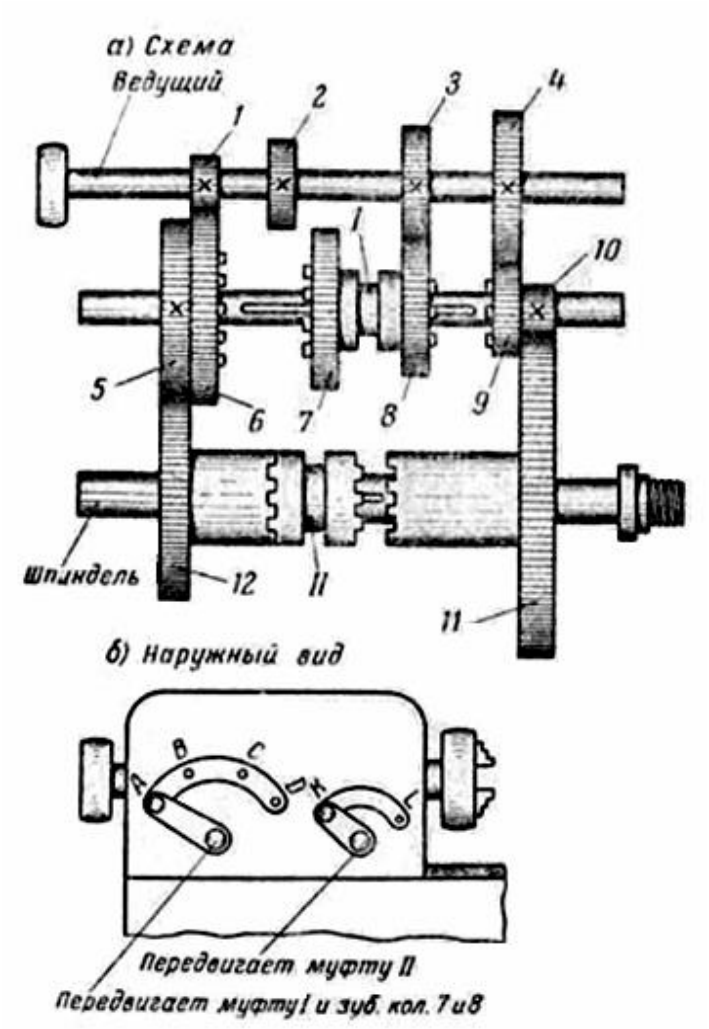


Рис. 31. Схема коробки скоростей и ее наружного вида

Задача 11. Разобрать схему коробки скоростей, показанную на рис. 32, *а*. На рис. 32, *б* дан наружный вид этой коробки

Найти:

1) число возможных скоростей вращения шпинделя;

2) составить трафаретку, показав графически положения рукояток коробки и указав, через какие колеса идет передача при каждом отдельном включении.

Направление перемещения муфт и направление колес совпадает с направлением вращений перемещающих их рукояток.

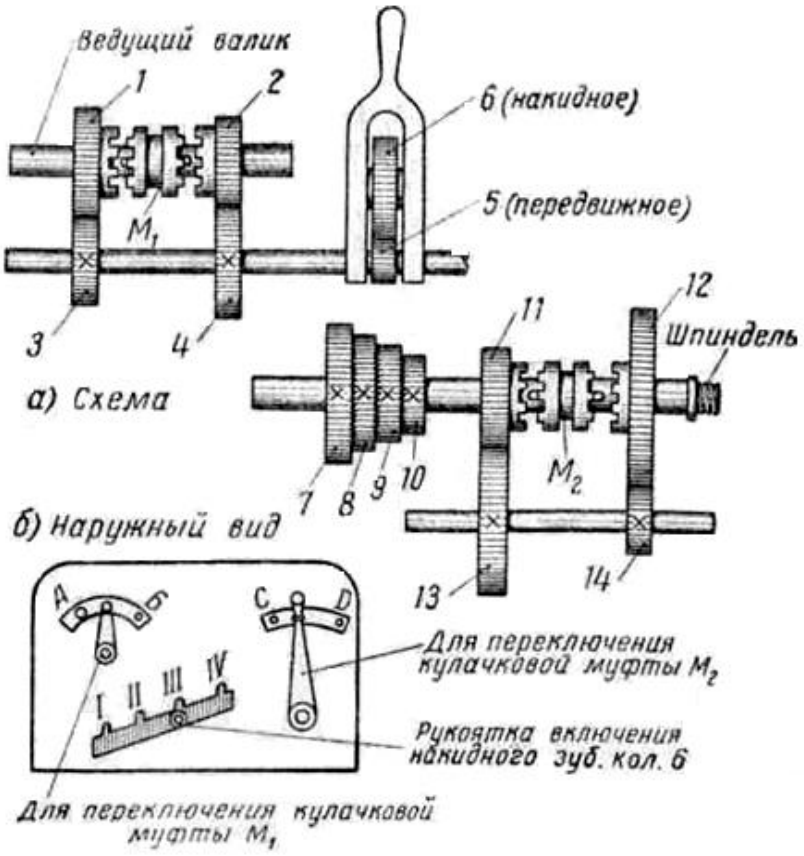


Рис. 32. Схема коробки скоростей с переключением с помощью кулачковой муфты

Задача 12. На рис. 33 дана развернутая кинематическая схема коробки скоростей токарного станка ДИП-200.

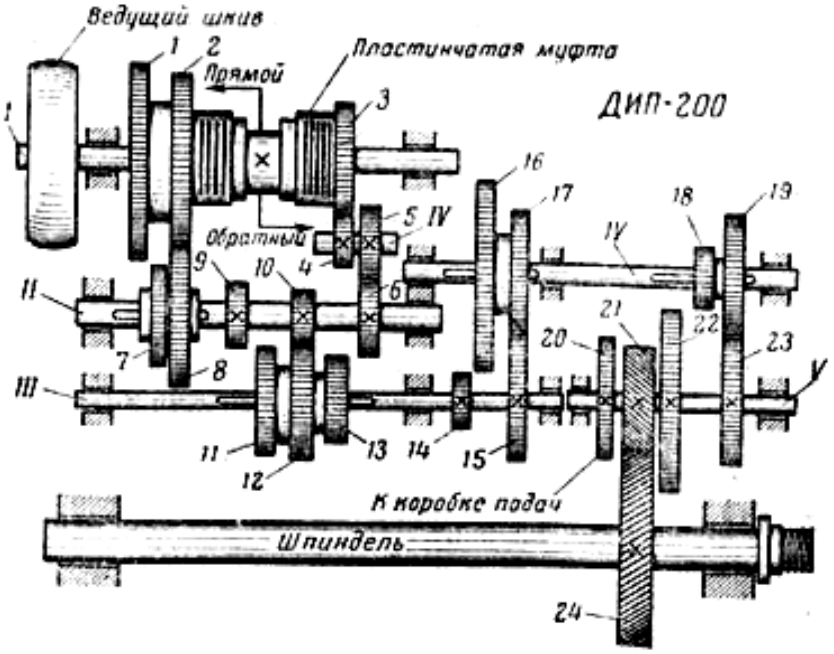


Рис. 33. Кинематическая схема коробки скоростей токарного станка ДИП-200

Числа зубьев колес, показанных на схеме, следующие (табл. 15):

Таблица 15

№ колеса	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12
Число зубьев	28	20	56	51	50	24	36	36	34	39	44	62
№ колеса	21	2 2	13	14	15	16	17	18	19	20	23	24
Число зубьев	32	80	36	20	50	80	50	20	50	50	50	64

На валик *I* посажены две фрикционные пластинчатые муфты, включение которых производится при помощи особого рычага, не показанного на рисунке. При включении левой муфты шпинделю сообщается рабочее вращение, а при включении правой муфты – ускоренное вращение в обратную сторону. При установке рычага в среднее положение муфта выключается, валик *I* вращается вхолостую, вращение шпинделя прекращается.

По валику *II* передвигаются колеса *7* и*8,* по валику *III* – колеса *11*, *12* и *13.*

Это позволяет при прямом вращении шпинделя сообщить валику *III* шесть скоростей.

Передвижные колеса *16* и *17* могут быть соединены с колесами *14* и *15*, а передвижные колеса *18* и *19* – с колесами *22* и *23.*

В данном узле могут иметь место четыре случая передачи вращения от валика *I* к валику *V* через промежуточный валик *IV* при следующих соединениях колес:

1. 14 – 16, 19 – 23
2. 14 – 16, 18 – 22
3. 15 – 17, 19 – 23
4. 15 – 17, 18 –22

Из указанных четырех возможных передач первая (*14 – 16, 19 – 23*) не применяется. Как видно, шпиндель имеет 18 скоростей прямого хода и 9 обратного.

Требуется:

1) определить все возможные случаи сцепления колес;
2) подсчитать передаточные числа для всех 18 случаев передачи вращения шпинделя;
3) объяснить, почему вариант передачи через колеса *14 – 16* и *19 – 23* не применяется.

Задача 13. На рис. 34 схематически показаны четыре (*а, б, в, г*) различных коробки подач. Все положения рукояток – рабочие.

Составить схемы коробок, используя для этого сочетания ранее разобранных механизмов (см. задачи 4 – 6), и зарисовать трафаретки для них.

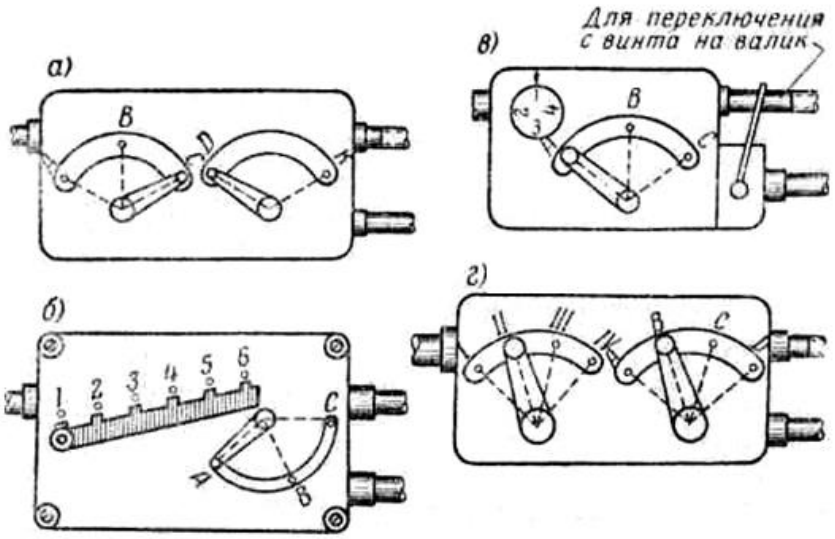


Рис. 34. Схематический чертеж четырех коробок подач различных токарных станков

Задача 14. На рис. 35*, а, б, в* схематически показаны три вида коробки скоростей. Все положения рукояток – рабочие. Составить схемы коробок скоростей, используя для этого сочетания разобранных ранее механизмов (см. задачи 4 – 6) и зарисовать соответствующие трафаретки.

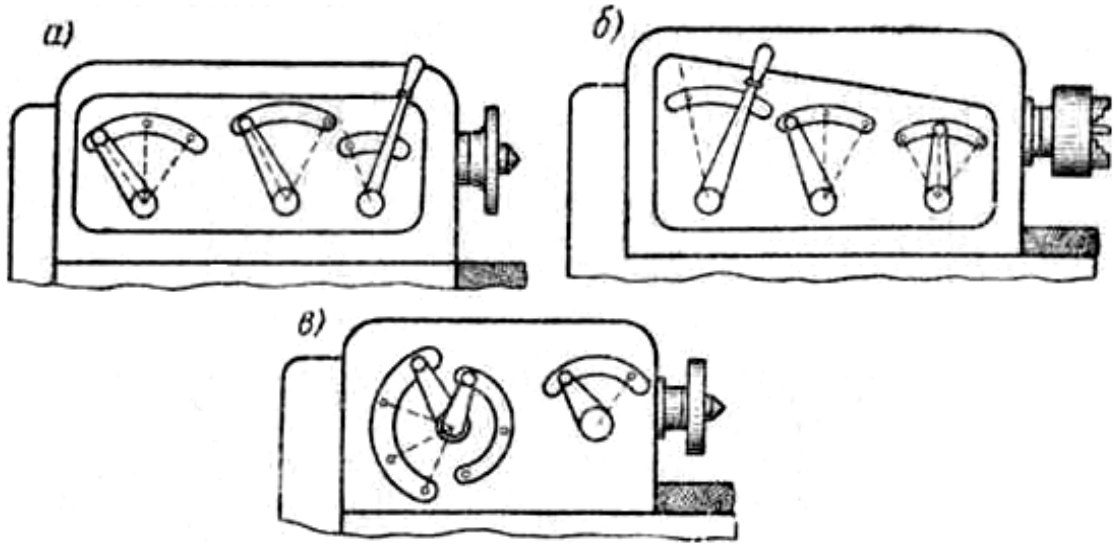


Рис. 35. Схематический чертеж трех коробок подач различных токарных станков

Задача 15. На рис. 36*, а, б,* в показаны три реверсивных механизма различных конструкций.

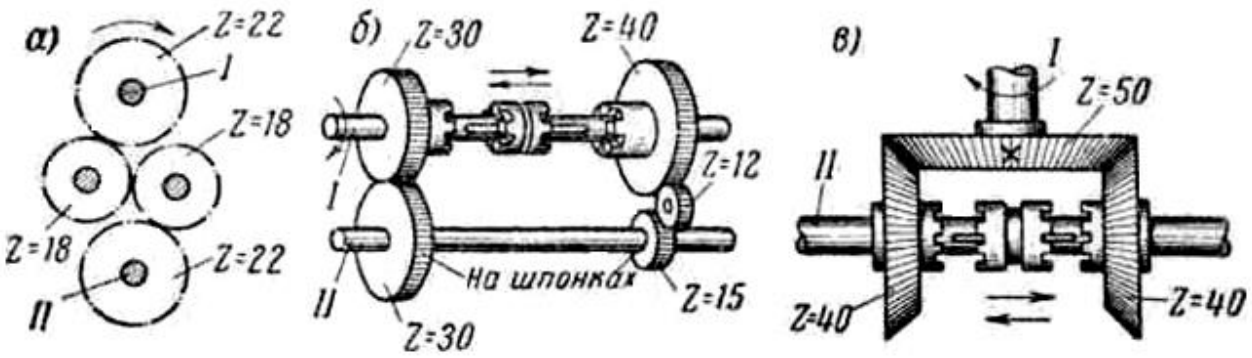


Рис. 36. Схемы трех реверсивных механизмов различных конструкций

Определить:

1) направление вращения ведомого валика *II* при вращении ведущего валика *I* в направлении, указанном стрелками;

2) передаточные числа для всех трех механизмов при прямом и обратном вращении валика *I*;

3) какие колеса необходимо поставить на трензель рис. 36, *б*, чтобы при одном из включений вращение ведомого валика *II* было в два раза быстрее?

Задача 16. На рис. 37, *а* дана кинематическая схема фартука суппорта токарного станка, а его наружный вид на рис. 37, *б*. Ходовой винт и маточная гайка на схеме не показаны.

Продольная автоматическая подача получается следующим образом. Ходовой валик вращает перемещающееся по нему на шпонке коническое колесо $z = 18$, которое, в свою очередь, вращает большое коническое колесо $z = 56$ и сидящее с ним на одном валике колесо $z = 14$. Далее подача идет через колеса: $z = 74$, $z = 18$, $z = 88$ и $z = 12$. Колесо $z = 12$ сцеплено с зубчатой рейкой. Включение и выключение продольной автоматической подачи производится при помощи фрикциона.

Продольная ручная подача осуществляется вращением маховика (через колеса $z = 14$, $z = 88$, $z = 12$ и зубчатую рейку).

Поперечная автоматическая подача осуществляется так: вращение колеса $z = 14$ через колеса $z = 74$ и $z = 20$ передается колесу $z = 18$, связанному шпонкой с винтом поперечной подачи. Поперечный само-

ход выключается передвижением колеса $z = 20$, которое при включенном самоходе соединяет колесо$z = 74$ с колесом $z = 18$.

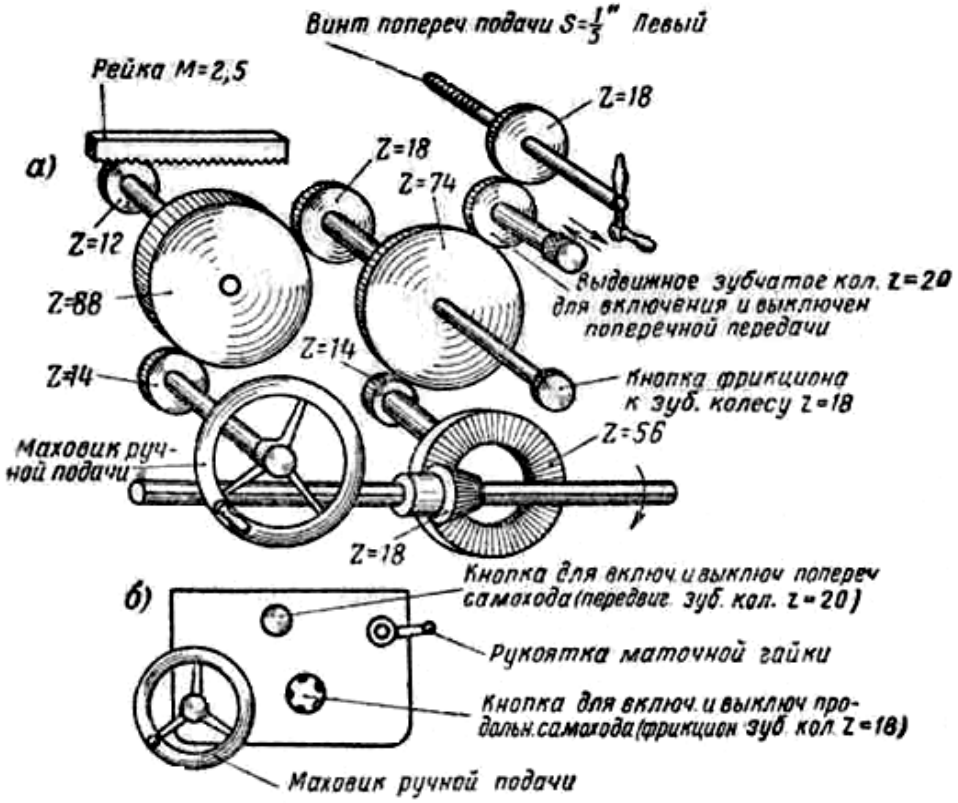


Рис. 37. Кинематическая схема фартука суппорта токарного станка

Определить:

1) в каком направлении будет перемещаться суппорт при включении продольного самохода, если ходовой валик вращается в направлении, указанном стрелкой (см. схему);
2) то же для поперечного суппорта; передаточное число от ходового валика к винту поперечной подачи (от конического колеса $z = 18$ к цилиндрическому колесу $z = 18$);
3) на сколько миллиметров переместятся верхние салазки суппорта за 100 оборотов ходового валика (при включении автоматической подачи).

Задача 17. На рис. 38, *а* дана схема, 38, *б* – наружный вид фартука суппорта с самостоятельными механизмами для осуществления продольной и поперечной автоматических подач.

Определить:

1) в каком направлении будет перемещаться суппорт при включении продольного самохода, если ходовой валик вращается в направ-

лении, указанном стрелкой (см. схему);

2) то же для поперечного суппорта;

3) передаточное число *i* механизма поперечной подачи (от валика к винту);

4) величину подачи (продольной) в миллиметрах на 10 оборотов ходового валика.

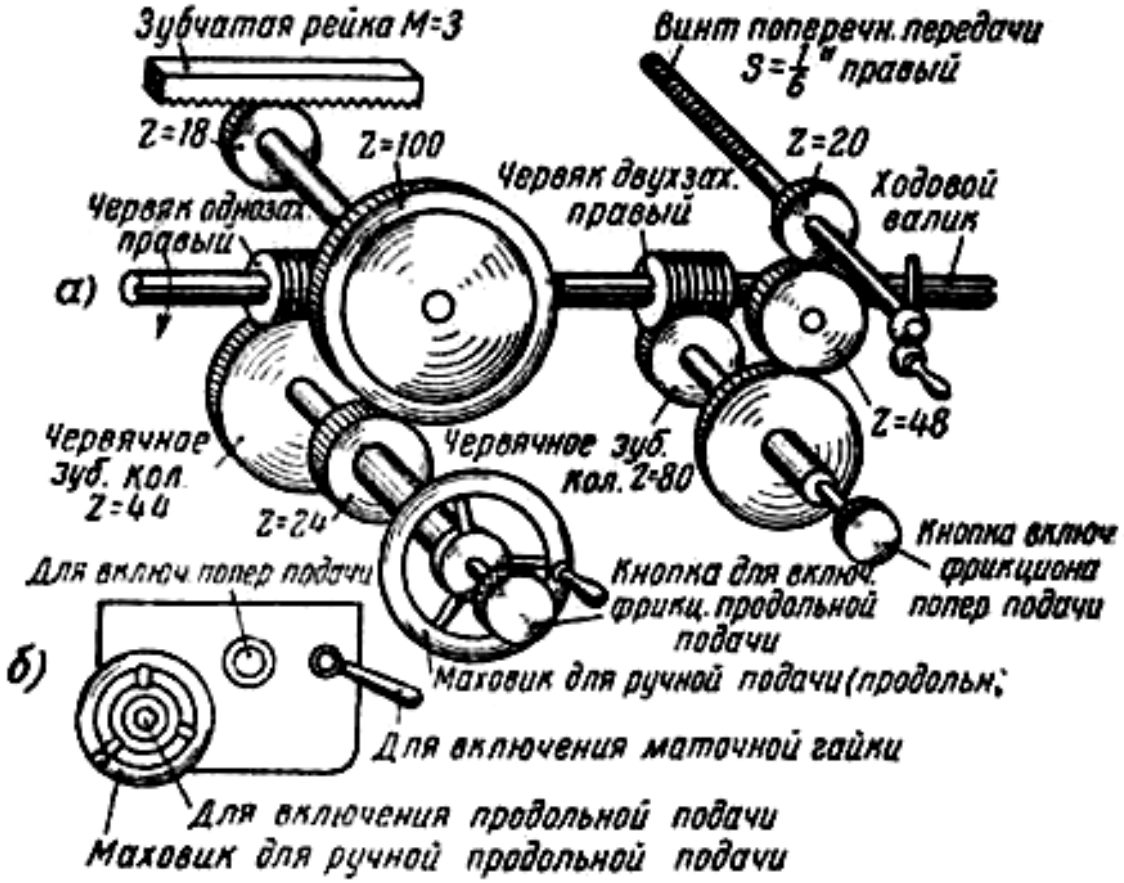


Рис. 38. Фартук суппорта с самостоятельным механизмом для автоматических подач

Задача 18. На рис. 39 показано несколько вариантов, передающих вращение токарным станкам. Условия передачи указаны на рисунке. Так, в варианте *а* требуется определить передаточное число колес коробки скоростей, если вал электродвигателя делает $n = 1000$ об/мин., а шпиндель станка – $n = 16$ об/мин.

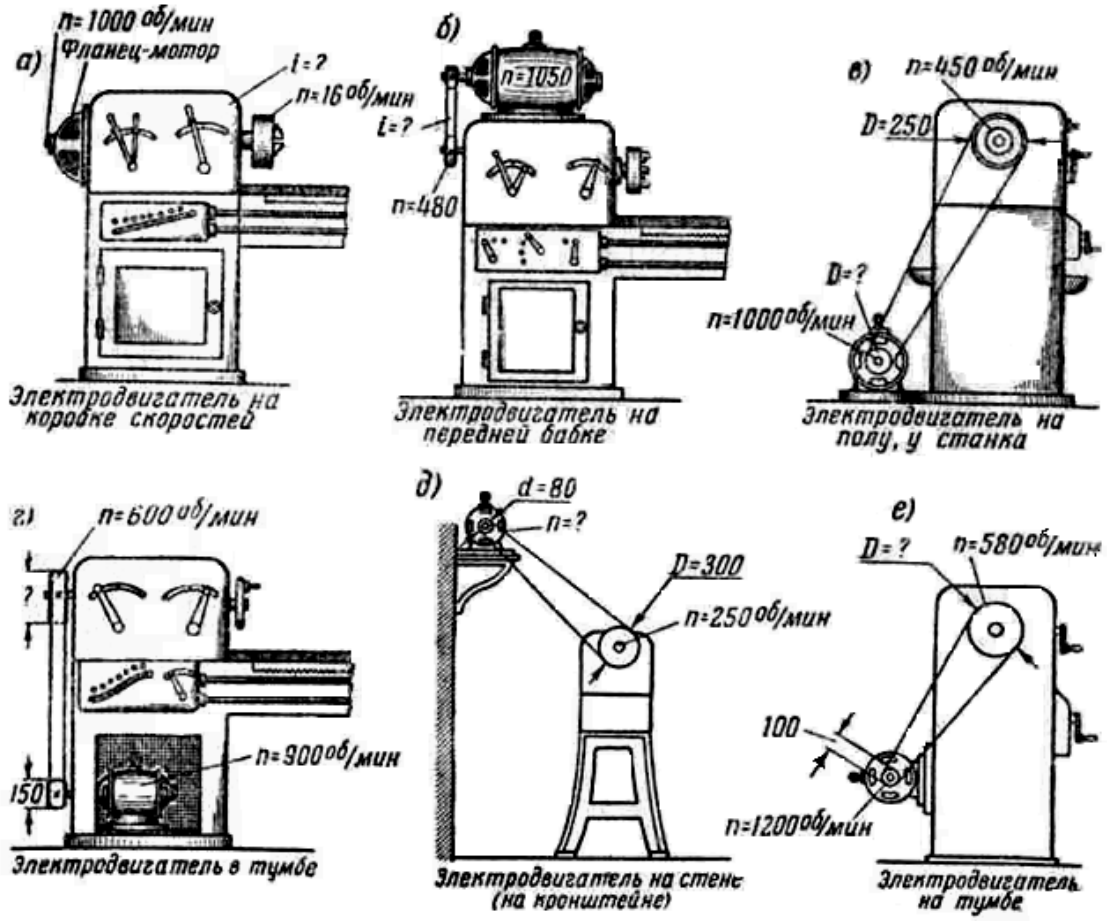


Рис. 39. Места установки электродвигателей

Задача 19. На рис. 40 дана схема привода с бесступенчатым вариатором механического типа системы Светозарова, применяемого на скоростном токарно-винторезном станке модели 1620

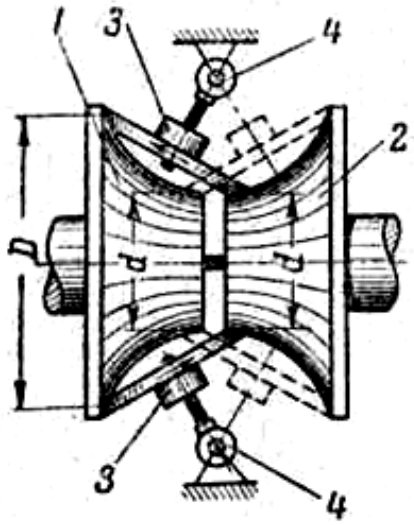


Рис. 40. Схема бесступенчатого вариатора механического типа системы Светозарова

Цифрами 1 и 2 обозначены сферические шкивы. Вращение от ведущего шкива *1* ведомому шкиву *2* передается через конические диски *3*, сидящие на валиках, перемещающихся относительно осей *4*.

Определить:

1) совпадает ли направление вращения шкивов *1* и *2*.
2) какой шкив вращается (в данном положении) с большим числом оборотов;
3) когда число оборотов ведомого шкива *2* будет равно числу оборотов ведущего шкива *1*;
4) влияет ли на передаточные числа между шкивами *1* и *2* диаметры конических дисков.

Задача 20. На рис. 41 показан редуктор привода главного движения скоростного токарно-винторезного станка модели 1616.

От редуктора при помощи клиновидных ремней передача идет через коробку к передней бабке станка: определить, сколько скоростей дает редуктор; подсчитать все возможные числа оборотов валика, передающего вращение через шкив и клиновидные ремни коробке скоростей.

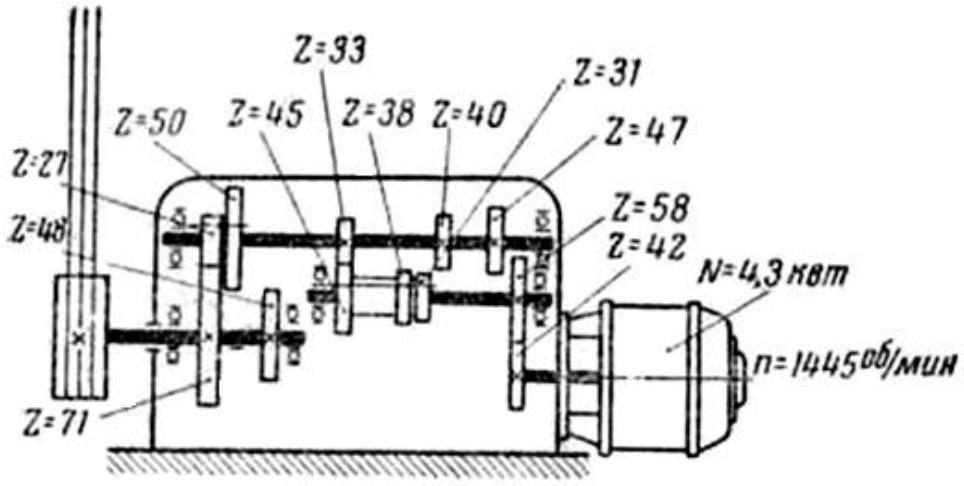


Рис. 41. Редуктор токарно-винторезного станка модели 1616

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. На какие типы делятся токарные станки?
2. Какими способами осуществляется вращение шпинделя в обратную сторону?
3. В чем преимущества станка с коробкой скоростей по сравнению со станком со ступенчатым шкивом?
4. Какие марки токарных станков, выпускаемых нашей промышленностью, вы знаете?
5. Из каких основных механизмов состоят коробки скоростей и подач?
6. В чем сходство и разница механизмов кулачковой и фрикционной муфты?
7. Как, не открывая коробки скоростей, узнать рукоятку, включающую фрикционную муфту?
8. Как определить число скоростей шпинделя по числу рабочих включений различных рукояток коробки скоростей?
9. Имеются ли сменные шестерни у станков с коробками подач?
10. Какие разновидности механизмов существуют для изменения направления вращения ходового винта и ходового валика?
11. При помощи каких устройств и механизмов осуществляется автоматическая подача суппорта?
12. При помощи каких механизмов производится включение и выключение автоматических подач?
13. Как устроен механизм, не допускающий одновременного включения продольной подачи от винта и валика?
14. Какой формы получится изделие, если его обтачивать с автоматическими продольной и поперечной подачами?
15. Как устроены приспособления, автоматически выключающие подачу?
16. Как устроены предохранительные муфты, устанавливаемые на ходовом винте и валике?
17. Сколько скоростей прямого и обратного хода имеет станок ДИП 200?
18. В чем особенность устройства и назначения станков револьверного, расточного, карусельного, лобового?
19. В каких случаях применяются токарные автоматы?
20. Какими основными размерами характеризуется токарный станок?
21. Какие максимальные скорости вращения шпинделя достигнуты в настоящее время?
22. Расскажите историю развития токарных станков и роль русских изобретателей в этом вопросе.
23. Какое значение имело изобретение Андреем Нартовым суппорта и как это повлияло на дальнейшее усовершенствование металлообрабатывающих станков?

Оглавление

РАБОТА №1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ 3
РАБОТА №2. РАСЧЕТ МОДУЛЯ РЕЙКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ..... 5
РАБОТА №3. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ СМЕЩЕНИЯ ЗАДНЕЙ БАБКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНУСА НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ 7
РАБОТА № 4. НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКАМОДЕЛИ 1К62Д НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ 16
РАБОТА №5. РАСЧЕТ НАСТРОЙКИ ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦОМ..... 27
ЗАНЯТИЕ 6. РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ И ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ ГИТАРЫ СМЕННЫХ КОЛЕС..... 31
ЗАНЯТИЕ 7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕЗЬБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА НА ФРЕЗЕРОВАНИЕ РЕЗЬБЫ ДИСКОВОЙ ФРЕЗОЙ..... 34
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. РАСЧЕТ КУЛИСНОГО МЕХАНИЗМА..... 38
ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ..... 43

Учебное издание

Сергей Александрович Волегов
Татьяна Петровна Глинникова

ОБОРУДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

практикум
по выполнению практических работ
для студентов направления бакалавриата:
15.03.01 «Машиностроение» и СПО
специальности 15.02.01 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям)»
очного и заочного обучения

Редактор

Подписано в печать 12.**.2017 г.
Бумага писчая. Формат 60 × 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. *,0. Уч.-изд. л. *. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет»

С. А. Волегов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « технологическая оснастка»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения
износостойкости и восстановления деталей
машин и аппаратов»

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
горно-механического
факультета УГГУ
Председатель комиссии
_____ проф. В. П. Барановский

Сергей Александрович Волегов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения износостойкости
и восстановления деталей машин и аппаратов»

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

Волегов С. А. Лабораторный практикум. Руководство по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «по дисциплине « Технологическое оборудование машиностроительного

производства» » для для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение» специализации «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 83 с.

В руководстве приведены методические указания и приведены краткие теоретические положения, на основе которых решаются отдельные задачи, указывается конкретная справочная и техническая литература, которая должна быть использована при этом. Руководство содержит необходимый объем справочной информации в виде таблиц, для выполнения практических работ.

Руководство по выполнению лабораторных работ рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 2017 г. (протокол № 6) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Рецензент: А. И. Мамедов канд. техн. наук

© Волегов С. А., 2019
© Уральский государственный
горный университет, 2019

РАБОТА № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ, РАСШИРЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ

После того, как получено производственное задание, необходимо решить: с использованием какого оборудования и инструмента можно вести обработку; каким образом закрепить деталь и инструмент на станке; какие средства контроля использовать, чтобы размеры и формы детали соответствовали требованиям чертежа (эскиза).

Могут быть случаи, когда станок не обладает оборудованием, которое необходимо для выполнения задания. Поэтому необходимы устройства, расширяющие технологические возможности имеющихся станков. Так, при отсутствии фрезерного станка несложные фрезерные работы могут быть выполнены на токарном или вертикально-сверлильном станках. На ***специально оборудованном*** вертикально-сверлильном станке может выполняться свыше 50 операций, включающую токарную обработку и фрезерование плоскостей.

Пример. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков подразделяются на две группы. Приспособления одной группы, такие как дополнительные одно- и многошпиндельные фрезерные головки, головки для фрезерования реек, копировальные приспособления и т.п., не изменяют основного назначения станка, а приспособления другой группы – долбежные, сверлильные и шлифовальные головки – в корне меняют характер выполняемых на станке технологических операций.

Дополнительная вертикально-фрезерная головка (рис. 1, *а*), устанавливаемая на горизонтально-фрезерном станке, делает его более универсальным. Головку *2* крепят на вертикальных направляющих *1* станины. Шпиндель *3* головки приводится во вращение от шпинделя станка через зубчатые колеса.

Приспособление для фрезерования реек (рис. 1, *б*), закрепляемое на хоботе *4* горизонтально-фрезерного станка, приводится в действие от шпинделя *5* станка. Впадину рейки прорезают фрезой *6* при поперечной подаче стола, а смещение рейки на один шаг выполняется вместе со столом в продольном направлении.

Двухшпиндельная фрезерная головка (рис. 1, *в*), может быть использована при обработке заготовки сразу с двух сторон или при фрезеровании ступенчатых поверхностей. В последнем случае один из шпинделей имеет осевое установочное перемещение. В некоторых конструкциях двухшпиндельных фрезерных головок можно регулировать расстояние между осями шпинделей.

Сверлильная головка (рис. 1, *г*), установленная на станке, имеет привод шпинделя от электродвигателя *7* через коробку скоростей *8*. Сверлильную головку используют при сверлении малых отверстий, когда необходима большая частота вращения инструмента.

Шлифовальную головку, показанную на рис.1, *д*, устанавливают на станине консольно-фрезерного станка, ее шпиндель *11* приводится во вращение шпинделем станка через две ременные передачи, что повышает частоту его вращения.

Долбежную головку (рис. 1, *е*) используют на фрезерном станке при отсутствии на производстве долбежного станка. Головку устанавливают на станине горизонтально-фрезерного станка. Ползун *9* с резцом *10* получает возвратно-поступательное движение от шпинделя станка через кривошипно-шатунный механизм.

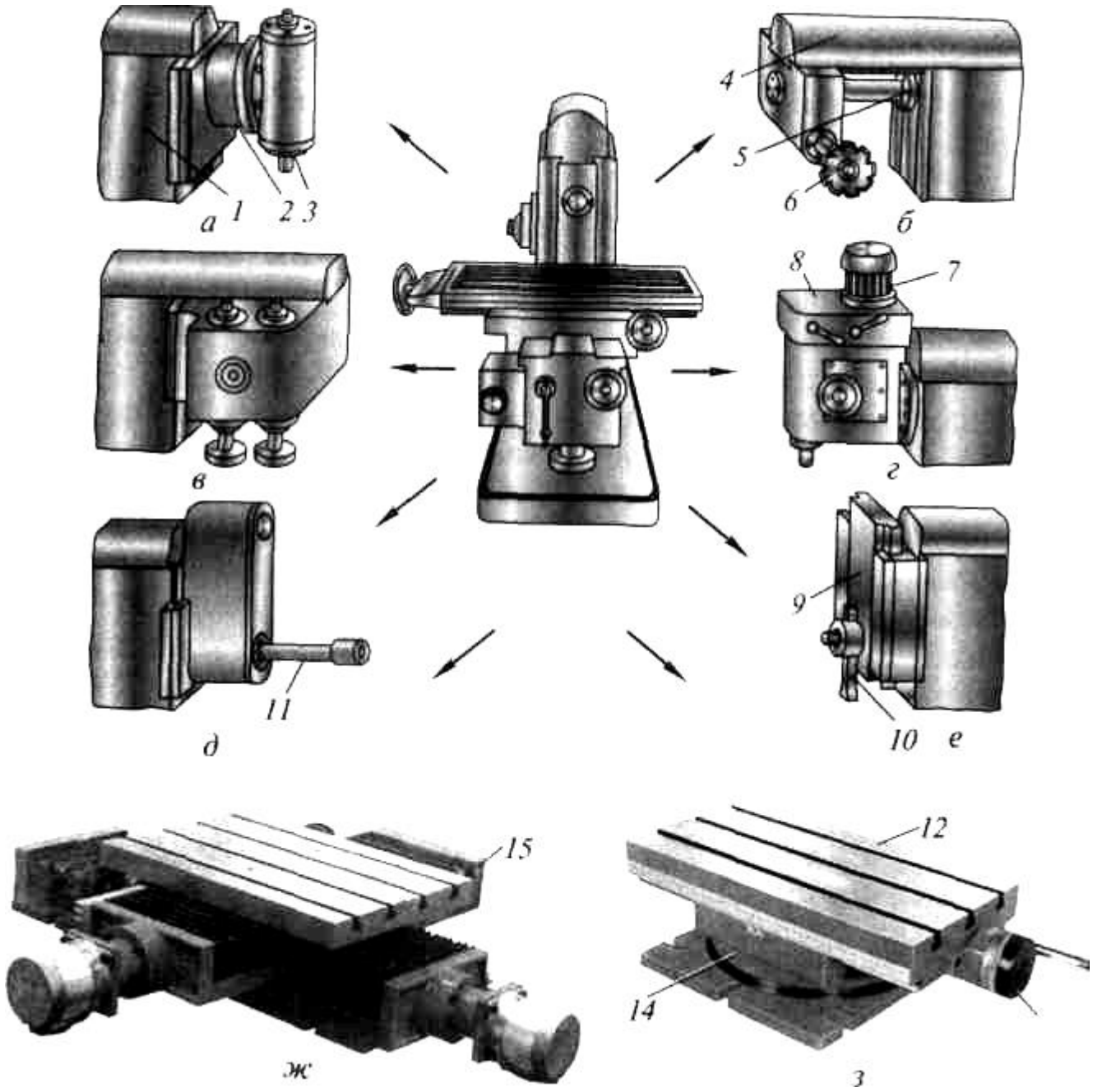


Рис.1. Приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков:

1 – направляющая станины; *2* – вертикально-фрезерная головка; *3,5* – шпиндель;*4* – хобот станка;*5* – шпиндель станка; *6* – фреза; *7* – электродвигатель; *8* – коробка скоростей; *9* – ползун; *10* – резец; *11* – шпиндель шлифовальной головки; *12* – стол для продольных перемещений с пазами;*13* – рукоятка; *14* – поворотный стол;*15* – крестовый стол

Для выполнения работ повышенной точности на универсальных станках нормального класса на стол станка (рис. 1, *ж*) устанавливают

дополнительный крестовый стол 15.

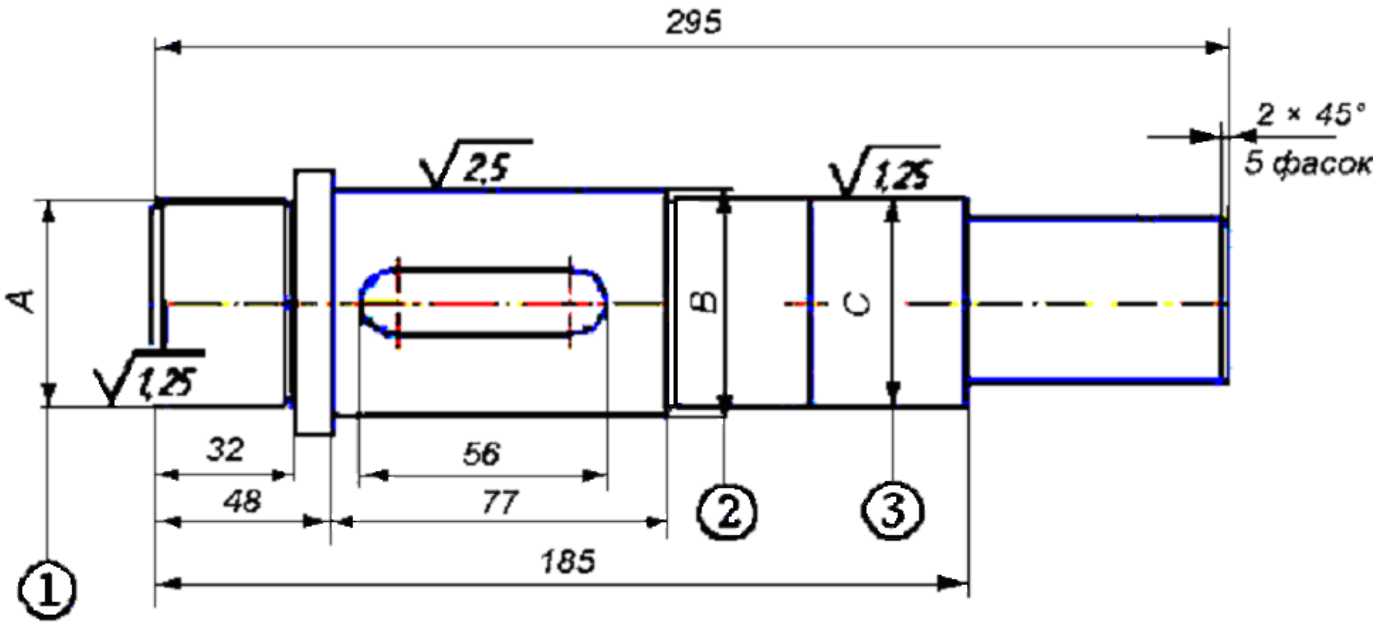
Дальнейшее расширение технологических возможностей горизонтальных и вертикальных фрезерных станков обеспечивает установка на поворотном столе *14* (рис. 1, *з*) *дополнительного стола 12* с пазами для продольных перемещений.

Помощь в выборе и рациональном применении систем станочных приспособлений могут оказать методические указания [2].

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться визуально с конструкциями предлагаемых устройств.
2. Скомпоновать и дать схему устройства, предназначенного для шлифования наружных цилиндрических поверхностей на токарном станке.
3. Подобрать круг (выбрать полную характеристику) и определить режим резания для обработки деталей из заданного материала (по литературе [1]).
4. Скомпоновать и дать схему устройства, предназначенного для обработки (фрезерования) многогранника на токарном станке.
5. Подобрать инструмент и рассчитать режим резания для обработки детали (многогранника) из заданного материала.

6. Данные для расчетов режимов резания брать из табл.1. Для расчета режима резания при обработке детали (многогранника)



принять размеры детали и материал по заданному варианту.

Рис. 2. Эскиз детали

Таблица 1

Варианты заданий

Вариант	поверхность	Диаметр	материал
1	1	A = 30	Ст 40 не закаленная
2	2	B = 40	Ст 35 не закаленная
3	3	C = 50	Ст 45 не закаленная
4	1	A = 60	Сталь 40ХНМА закаленная
5	2	B = 70	Сталь 30ХГС, закаленная
6	3	C = 80	Ст 40 закаленная
7	1	A = 90	Ст 40Х закаленная
8	2	B = 100	Ст 40 Х закаленная
9	3	C = 90	Ст 45Х закаленная
10	1	A = 80	Ст 45Х закаленная
11	2	B = 70	Ст 40Х не закаленная
12	3	C = 60	Ст 5 не закаленная

(Форма отчета для лабораторной работы № 1)

Студент _____ Группа _____

Отчет по лабораторной работе № 1
Изучение устройств, расширяющих технологические возможности станков

Схемы приспособлений

Эскиз инструмента с обозначением по ГОСТу

Режим резания (расчет)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ (Часть 1) для студентов профилизации «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 112 с.
2. Методические указания ЕСТТП. Выбор и рациональное применение систем станочных приспособлений. М.: Изд-во стандартов, 1979. – 87 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
ИЗУЧЕНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Цель работы: анализ конструкций некоторых рабочих приспособлений.

Краткие теоретические сведения

Для правильной работы каждой машины необходимо обеспечить определенное взаимное расположение ее деталей и узлов. При обработке деталей на станках заготовки также должны быть правильно ориентированы относительно механизмов и узлов станков. Погрешности формы и размеров обработанных заготовок определяются отклонениями положений режущих кромок и заготовок от траектории заданного формообразующего движения. Задачи взаимной ориентировки деталей и сборочных единиц в машинах при их сборке и заготовок на станках при изготовлении деталей решаются их базированием.

Под базированием понимается придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. При механической обработке заготовок на станках базирование осуществляется относительно элементов станка или инструмента. Для обеспечения обработки заготовки необходимо решить две задачи: сориентировать заготовку на станке (обеспечить ее правильное базирование) и закрепить ее в данном положении. Обе эти задачи решаются посредством наложения определенных ограничений (связей) на возможные перемещения заготовки в пространстве. Известно, что для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве

необходимо лишить его шести степеней свободы − трех поступательных перемещений вдоль осей координат и трех вращений вокруг указанных осей.

На рис. 3 представлена заготовка призматической формы с наложенными на нее связями в шести опорных точках (т. е. лишенная всех шести степеней свободы). Под опорной точкой понимают идеальную точку контакта заготовки и приспособления, лишающая заготовку одной степени свободы. Поверхности заготовок, используемые для базирования, называются базами. Различают:

- установочную базу − находящуюся в контакте с тремя опорными точками (точки 1, 2 и 3 на рис. 3);
- направляющую базу − находящуюся в контакте с двумя точками (точки 4 и 5);
- упорную базу − находящуюся в контакте с одной точкой (точка 6).

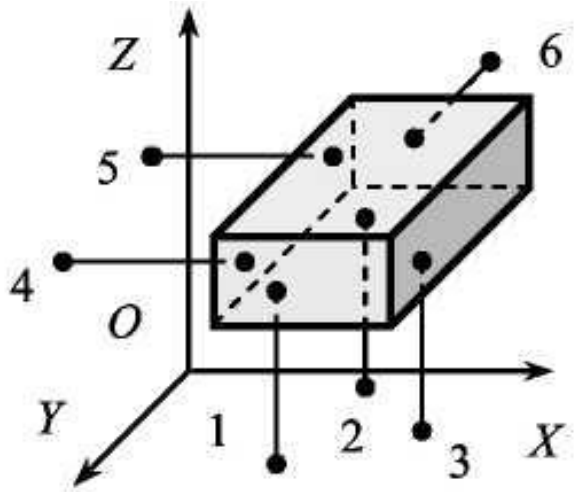


Рис. 3. Схема базирования призматической заготовки

Для повышения точности и надежности ориентировки в качестве установочной базы принимают поверхность с наибольшими раз-

мерами, позволяющими разнести три опорные точки как можно дальше друг от друга. В качестве направляющей базы принимается поверхность, наиболее протяженная по длине.

Для ориентирования тела в пространстве иногда не требуется лишение его всех 6 степеней свободы. Так, например, цилиндрическое тело, в большинстве случаев, допускает вращение вокруг своей оси. Тогда достаточно точно его положение в пространстве определится 5 опорными точками (рис. 4, 5).

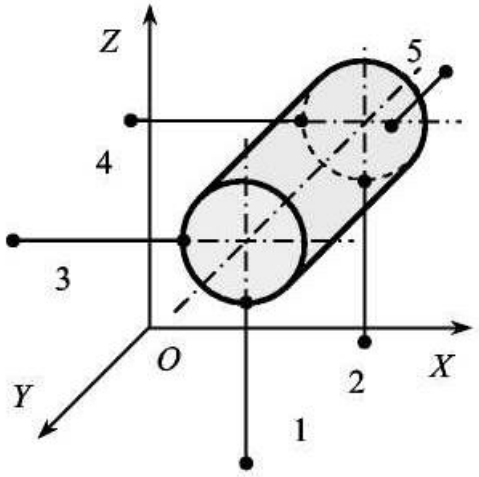


Рис. 4. Схема базирования длинной цилиндрической заготовки

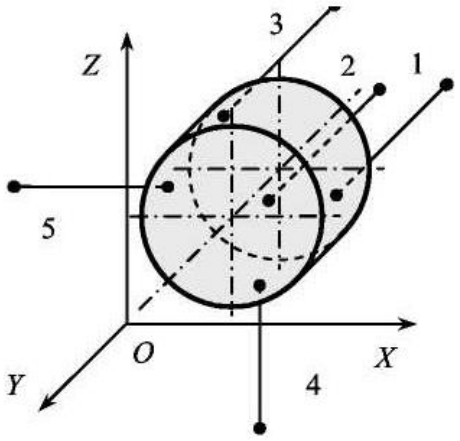


Рис. 5. Схема базирования диска

Для базирования заготовок и изделий в процессе их механической обработки и сборки используются приспособления − вспомогательные устройства, предназначенные для выполнения операций механической обработки, сборки и контроля.

По целевому назначению приспособления делятся:

- на станочные приспособления для установки и закрепления обрабатываемых заготовок на станках. В зависимости от вида обработки различают токарные, фрезерные, сверлильные, расточные, шлифовальные и другие приспособления;

- приспособления для крепления режущего инструмента. Они характеризуются большим числом нормализованных деталей и конструкций, что объясняется нормализацией и стандартизацией самих режущих инструментов; сборочные приспособления используют при выполнении сборочных операций, требующих большой точности сборки и приложения больших усилий; контрольно-измерительные приспособления применяют для контроля заготовок, промежуточного и окончательного контроля, а также для проверки собранных узлов и машин. Контрольные приспособления служат для установки мерительного инструмента;
- приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок, а также отдельных деталей и узлов при сборке.

В зависимости от вида производства, технологических требований станочные приспособления подразделяют:

- на универсальные приспособления (УП) – применяют для оснащения станков, работающих в условиях единичного производства, допускают установку заготовок различной формы и размеров. УП не обеспечивают высокой точности установки заготовок. К ним относятся универсальные, поворотные, делительные столы; самоцентрирующие патроны, тиски, кондукторы;
- универсально-сборные (УСП) − предназначены для оснащения станков, работающих в условиях единичного и мелкосерийного производства, их собирают из взаимозаменяемых узлов состоит из нескольких групп элементов и узлов: 1) базовые элементы, в том числе, плиты, угольники и др.; 2) опорные и корпусные элементы, опоры,

планки, угольники и др.; 3) направляющие и установочные элементы - втулки, шпонки, штыри, колонки и др.; 4) прижимные элементы - прихваты, кулачки и др.; 5) крепежные элементы - болты, гайки, шайбы, штифты и др.; 6) неразборные узлы - зажимные, установочные, силовые и др.;

- сборно-разборные (СРП) − применяют в условиях мелкосерийного и серийного производства, их собирают из нормализованных и стандартизованных узлов и деталей, которые возможно дорабатывать в процессе сборки приспособления, предназначены для крепления однотипных заготовок;
- универсально-переналаживаемые (УПП) – применяются в мелкосерийном и серийном производствах, состоят из корпусных деталей, снабженных сменными наладками, при этом корпусные детали и их приводы сохраняются постоянными, являясь неразборной частью. В состав УПП входят кулачковые и цанговые патроны, тиски, делительные устройства, скальчатые кондукторы, столы и др.;
- специальные (СП) − предназначены для выполнения налаженных операций, закрепленных за определенными станками, разрабатываются на конкретные заготовки для выполнения конкретных операций, обеспечивают высокую точность и быстрое закрепление, используются в условиях массового производства.

Приспособления для токарных и круглошлифовальных станков.

К ним относятся центры, поводковые приспособления, оправки, цанги, люнеты, патроны различных типов.

Центры устанавливают в шпинделе передней бабки токарного или шлифовального станка.

Они подразделяются на следующие типы:

- неподвижные;
- вращающиеся (рис. 6);
- плавающие;
- рифленые

Конусная поверхность центра предназначена для установки детали и имеет угол при вершине 60°, 90°, 120°; хвостовик центра изготавливают с конусом Морзе определенного номера (№ 2, 3, 4, 5, 6).

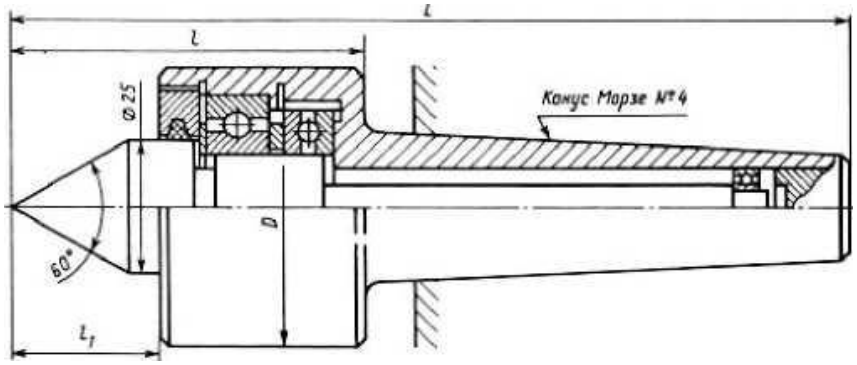


Рис. 6. Задний вращающийся центр для установки детали с центровыми отверстиями

Поводковые приспособления применяют для передачи вращательного движения (крутящего момента) от шпинделя станка к обрабатываемой детали, установленной в центрах, на оправке или в патроне. К поводковым приспособлениям относятся хомутики, поводковые планшайбы, поводковые патроны. Схема точения заготовки *2*, закрепленной в центрах и поводковом патроне *3* с хомутиком *1*, представлена на рис. 7.

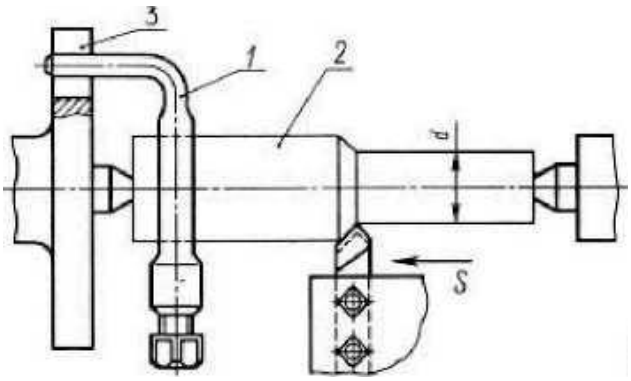


Рис.7. Схема обработки заготовки на токарном станке

Поводковые патроны имеют два или три эксцентриковых кулачка с насечкой, которые в начале обработки под действием сил резания зажимают обрабатываемую деталь, установленную в центрах станка, и передают ей крутящий момент от шпинделя станка; с увеличением крутящего момента резания автоматически увеличивается крутящий момент патрона. Для удобства установки деталей на центры применяют конструкции с автоматически раскрывающимися кулачками.

Кулачковые патроны применяют для установки и зажима различных деталей, обрабатываемых на токарных и шлифовальных станках. В зависимости от количества кулачков патроны разделяют на двух-, трех- и четырехкулачковые.

Наибольшее применение имеют универсальные трехкулачковые спирально-реечные патроны с плоской спиралью и ручным ключевым зажимом (рис. 8). В корпусе 1 патрона расположен диск 2, имеющий на одном конце коническое зубчатое колесо, на другом − спиральные реечные пазы, находящиеся в зацеплении с рейками 3. В крестообразном пазу реек 3 устанавливают и закрепляют винтами 4 прямые или обратные накладные кулачки. При вращении

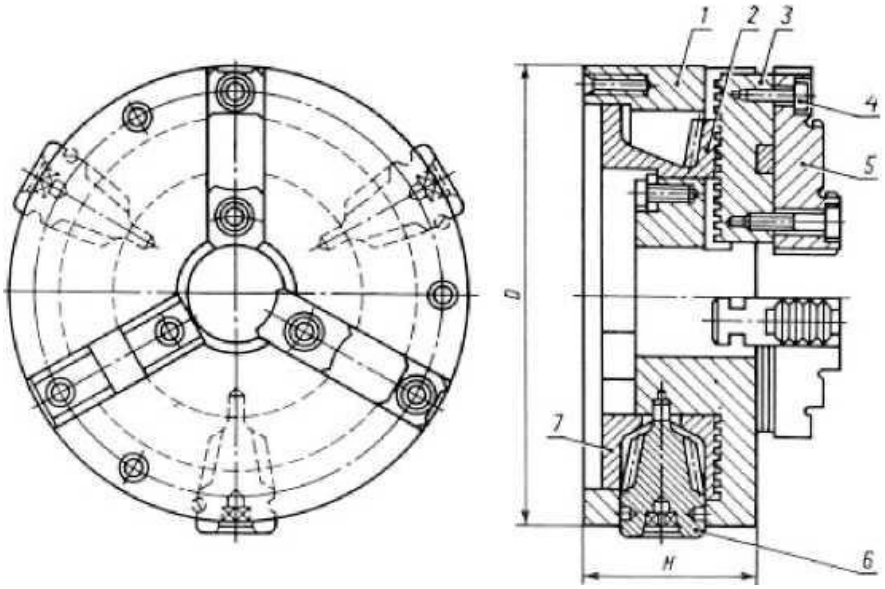


Рис. 8. Трехкулачковый спирально-реечный самоцентрирующий патрон

торцовым ключом одного из трех конических зубчатых колес 6, находящихся в зацеплении с коническим зубчатым венцом диска 2, последний поворачивается и перемещает рейки 3 с кулачками 5 к оси патрона при зажиме детали и от оси − при ее освобождении. Крышка 7 удерживает диск 2 в корпусе патрона от продольного смещения и препятствует попаданию в патрон стружки и грязи.

Цанговые патроны используются для закрепления заготовок из сортового проката простой геометрической формы. Основным элементом такого патрона является цанга -разрезная пружинящая втулка. Конструкция цангового патрона с центрированием по наружному диаметру заготовки с выдвижной цангой представлена на рис. 7 (N - осевая сила; Q - радиальная сила, действующая на деталь; Q1 - сила

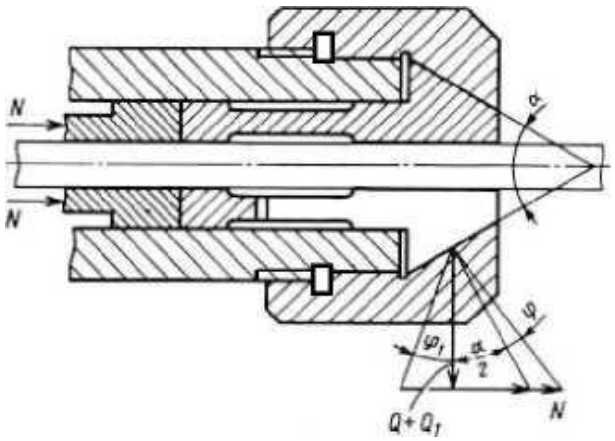


Рис. 9. Цанговый патрон с выдвижной цангой

предварительного сжатия лепестков цанги; α = 30 ... 40° – угол при вершине конуса цанги; φ = 6...8° – угол трения).

Оправки применяют для установки деталей по центральному отверстию. К таким деталям относятся втулки, гильзы, кольца, зубчатые колеса, обрабатываемые на многорезцовых, шлифовальных и других станках. Зажим и разжим детали на оправке производится механизированным приводом. В зависимости от способа закрепления оправки на станке различаются центровые, шпиндельные и фланцевые оправки.

Центровые оправки имеют центровые отверстия, которыми они устанавливаются на центры токарных, шлифовальных и других металлорежущих станков. Они могут иметь коническую рабочую поверхность для обеспечения высокой точности центрирования (рис. 10, *а*). Для установки деталей с зазором (рис.10, *б*) или натягом используется гладкая оправка, на цилиндрической части которой устанавливают обрабатываемую деталь.

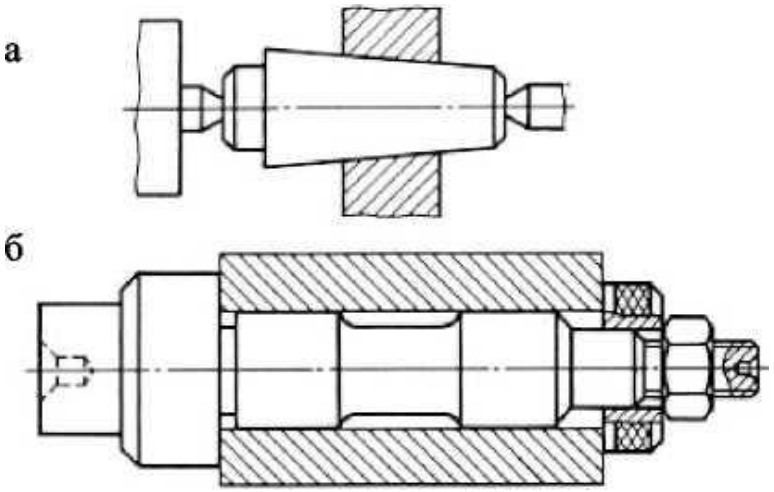


Рис. 10. Центровые оправки для установки цилиндрических заготовок в центрах на токарном станке

Шпиндельные оправки конической частью вставляются в корпус шпинделя станка. Для обеспечения высокой концентричности наружных и внутренних поверхностей применяется оправка с разрезной втулкой, на которой устанавливают и зажимают обрабатываемую деталь (рис.11).

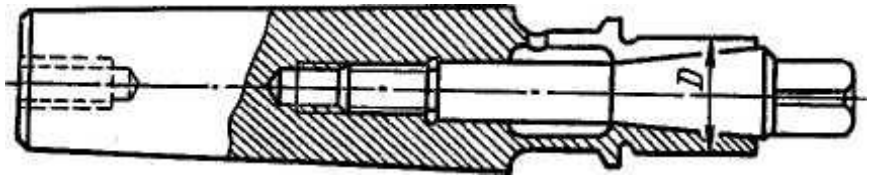


Рис. 11. Шпиндельная разжимная оправка

Люнеты (рис. 12) применяют в качества дополнительных опор при обработке нежестких валов. Используются универсальные неподвижные или подвижные люнеты с раздвижными кулачками и специальные, предназначенные для обработки определенных деталей или для поддержания приспособления, установленного на шпинделе станка и имеющего большой вылет.

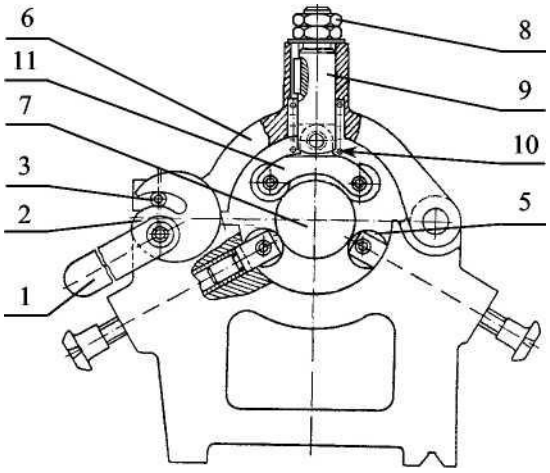


Рис. 12. Неподвижный универсальный люнет

В корпус 4 люнета установлены два шарикоподшипника 5. В отверстие крышки 6 вставлен валик 9 с пружиной, на конце валика подвижно закреплена серьга 11с двумя шарикоподшипниками 5. При закреплении обрабатываемого вала 7 опускают крышку 6 люнета и верхней гайкой 8 регулируют положения валика 9. Рукояткой 1 поворачивают эксцентрик 2, в спиральный паз которого входит штифт 3, установленный в крышке 6, и крышка перемещается к центру люнета. При этом пружина 10 прижимает серьгу 11с верхними подшипниками к валу и он зажимается между верхними и нижними подшипниками.

Приспособления для сверлильных станков

Кондукторы предназначены для установки деталей, обрабатываемых на сверлильных станках, имеют кондукторные втулки для направления режущего инструмента.

Кондукторные втулки (рис. 13) служат для направления режущего инструмента при обработке отверстий в деталях на сверлильных, агрегатных и расточных станках. Кондукторные втулки классифицируются на постоянные без буртика и с буртиком (рис. 11, а) и

сменные с буртиком (рис. 11, б, в). При обработке деталей с направлением режущего инструмента кондукторными втулками необходимо применять охлаждение для предупреждения большого нагревания инструмента и возможности его заедания во втулке. Кондукторные плиты служат для установки в их отверстиях кондукторных втулок.

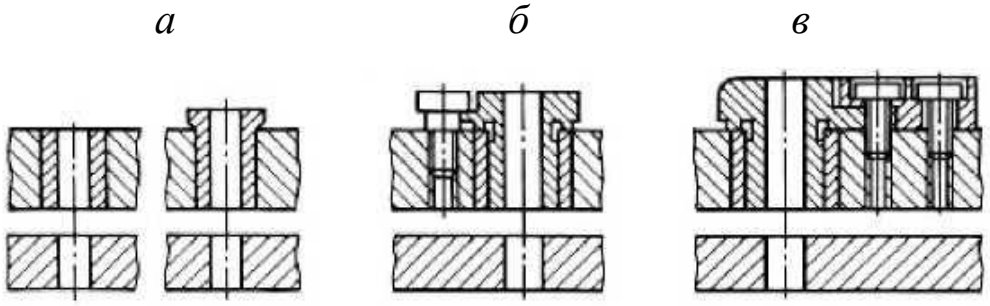


Рис. 13. Кондукторные втулки

Различают кондукторы накладные, стационарные, передвижные, поворотные. Наиболее широко применяются скальчатые кондукторы консольного и портального типов, с ручным или пневматическим зажимом (рис. 14).

В конструкции любого скальчатого кондуктора входят постоянные и сменные узлы (наладки). Постоянная часть кондуктора состоит из двух или трех расположенных в корпусе скалок, несущих кондукторную плиту, механизма для перемещения скалок и зажима обрабатываемых деталей. Сменные наладки проектируются в соответствия с конфигурацией обрабатываемых деталей и состоят из установочно-зажимных узлов и сменной кондукторной плиты с комплектом кондукторных втулок.

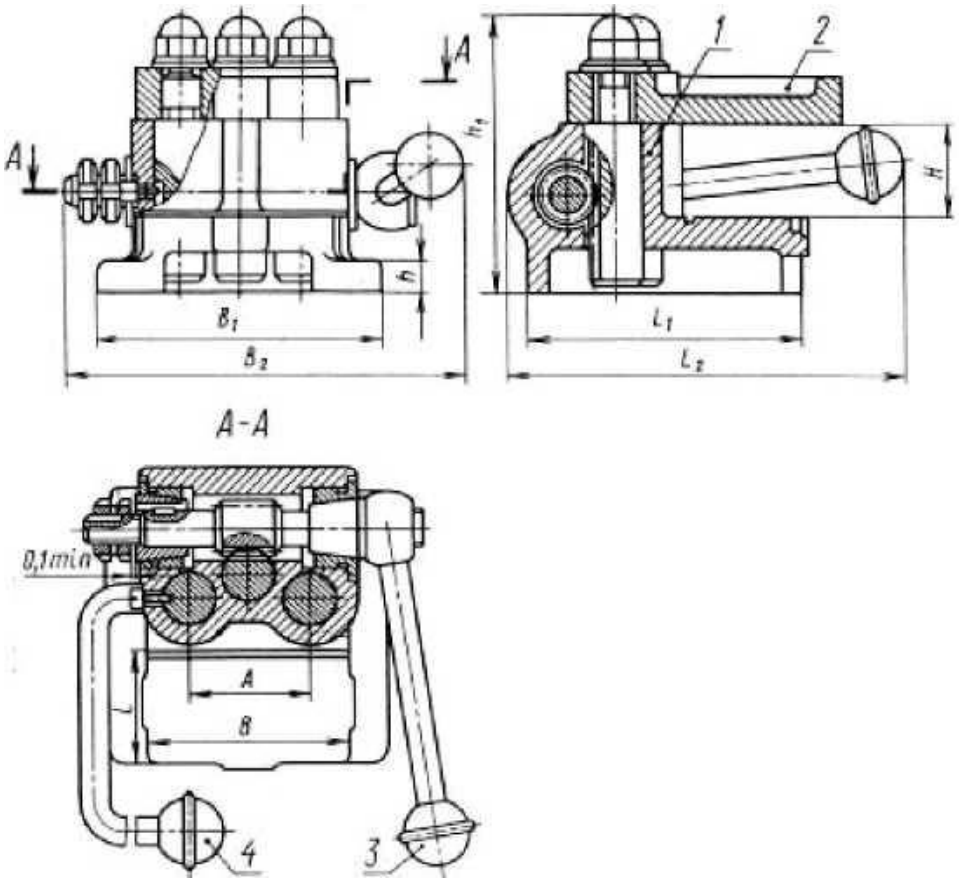


Рис. 14. Кондуктор скальчатый с конусным зажимом

В отверстиях корпуса 1 скользят три скалки, на которых гайками закреплена кондукторная плита 2. Средняя скалка-рейка с косыми зубами связана с зубчатым валиком. Правый конец этого валика имеет конический участок, а на левом конце его на шпонке смонтирована конусная втулка. Оба конуса притерты в конических отверстиях крышек. Опускание плиты 2 осуществляется рукояткой 3.

В момент контакта плиты с обрабатываемой деталью скалка-рейка останавливается. При дальнейшем нажиме на рукоятку горизонтальная составляющая реакции со стороны скалки-рейки на зубчатый валик смещает его влево, затягивает первый конусный замок и стопорный механизм. Для освобождения детали и подъема плиты ру-

коятку вращают в обратную сторону. Горизонтальная составляющая реакции зубца скалки на зубец валика изменяет свое направление и выжимает конический участок валика из конического гнезда крышки, что дает возможность поднять плиту. В ее крайнем верхнем положении скалка-рейка, действуя на зубчатый валик, смещает его вправо, при этом коническая втулка затягивается в гнездо крышки и срабатывает левый самотормозящийся конусный замок, удерживая плиту в верхнем положении.

Приспособления для фрезерных станков

Приспособления, применяемые во фрезерных станках можно разделить на приспособления для закрепления заготовок, приспособления для закрепления фрез и приспособления, расширяющие технологические возможности фрезерных станков.

Станочные тиски являются универсальным приспособлением, их применяют для базирования различных по форме и размерам деталей. Тиски имеют постоянные детали (корпус, салазки, механизм зажима) и сменные губки, которые используют при обработке деталей различных типоразмеров. По конструкции механизма зажима тиски различаются на винтовые и эксцентриковые. По типу силового привода - с ручным приводом, с механическим приводом, пневматические, пневмогидравлические, гидравлические. Кроме того, тиски бывают поворотные и неповоротные.

Тиски станочные с эксцентриковым зажимом и одной подвижной губкой (рис. 15) имеют корпус 1, по направляющим которого перемещается подвижная губка 2 с помощью ходового

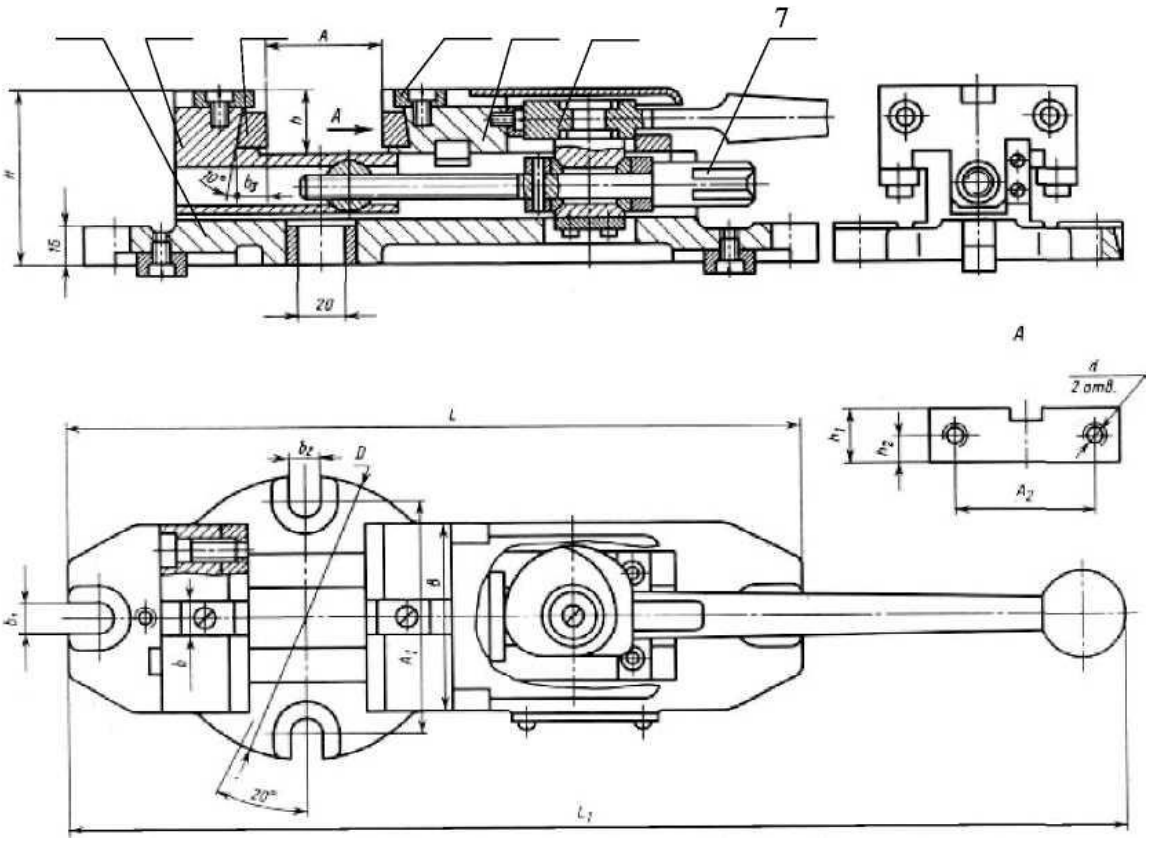
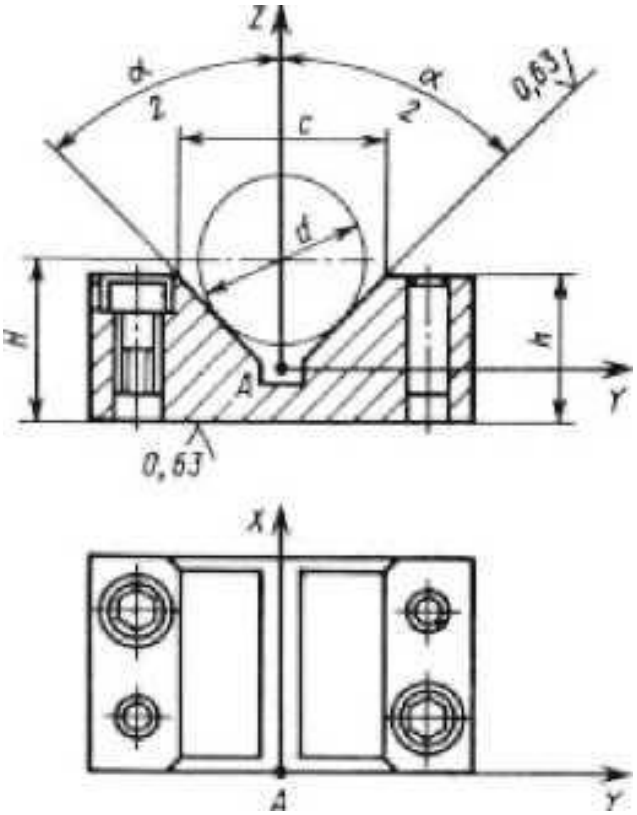


Рис. 15. Тиски станочные с эксцентриковым зажимом и одной подвижной губкой

винта 7 (при наладке тисков) и эксцентрика 6 с рукояткой (в процессе эксплуатации тисков). Деталь закрепляется между опорными поверхностями подвижной губки 2 и неподвижной губки 5. Накладные губки 3 выполняются в соответствии с формой зажимаемой детали и фиксируются с помощью накладных шпонок 4. Тиски могут устанавливаться непосредственно на стол станка или крепиться с помощью подставок.

Для базирования деталей, имеющих цилиндрические поверхности, используют опорные призмы различных конструкций. Призмы (рис. 16) применяются для базирования коротких заготовок или как элемент опорной сборной призмы, предназначенной для базирования

длинных заготовок. При установке деталей по черновой базе, а также при установке ступенчатых валов рабочие поверхности призм делают узкими



.Рис. 16. Призма для установки цилиндрических заготовок по обработанным поверхностям

Для расширения технологических возможностей фрезерных станков используют различные приспособления, позволяющие сообщить детали дополнительные рабочие или вспомогательные движения. К ним относятся круглые поворотные столы, делительные головки с прерывистым и непрерывным поворотом и др.

Делительные головки применяют для установки, зажима и периодического поворота заготовок на требуемый угол или для их непрерывного вращения при фрезеровании винтовых канавок.

Конструкции делительных головок весьма разнообразны, хотя

состоят из одних и тех же частей: корпуса, поворотной части, делительного механизма (фиксатора) и механизма зажима поворотной части.

Наиболее распространена универсальная лимбовая делительная головка (рис. 17, *а, б*). Она состоит из корпуса 1, делительного лимба5, поворотного барабана 2 и шпинделя 4 с центром. В корпусе на шпинделе жестко закреплено червячное зубчатое колесо (обычно с числом зубьев z = 40), находящееся в зацеплении с однозаходным червяком (k = 1). Вращение шпинделю сообщают рукояткой 6. Поворот рукоятки и соответственно заготовки на требуемый угол осуществляется с помощью лимба 5. Для удобства отсчета используют раздвижной сектор 7. На шпинделе 4 закреплен лимб 3 для непосредственного деления заготовки на части.

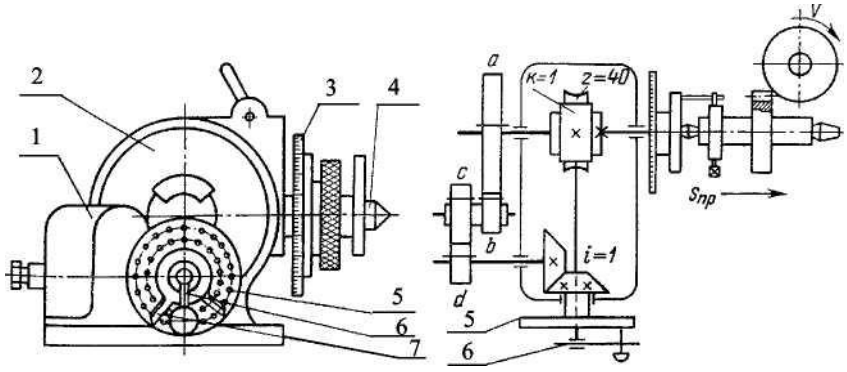


Рис. 17. Универсальная делительная головка

Винтовые канавки фрезеруют при непрерывном вращении шпинделя делительной головки, которое он получает от винта продольной подачи стола универсально-фрезерного станка через сменные зубчатые колеса *a, b, c* и *d.*

Установка и зажим обрабатываемых деталей в делительных головках обычно производятся с помощью центров (при наличии зад-

ней бабки), трехкулачковых патронов, цанг и других центрирующих устройств, монтируемых на шпинделе головки.

Необходимое оборудование, приспособление, инструмент, материалы

Задний центр.

Хомутики.

Оправки.

- Люнет.

Трехкулачковый патрон.

Кондуктор.

Машинные тиски.

Делительные головки.

Правила техники безопасности

Выполнять только порученное задание.

Бережно относиться к приборам и оборудованию.

По окончании работы убрать за собой рабочее место.

Порядок выполнения работы

1. Подобрать станочное приспособление для закрепления детали в соответствии с вариантом (табл. 1).

Таблица 1

Номер варианта	Эскиз детали	Номер варианта	Эскиз детали	Номер варианта	Эскиз детали
1	Рис. 16 *	6	Рис. 21 *	11	Рис. 26 *
2	Рис. 17 *	7	Рис. 22 *	12	Рис. 27 *
3	Рис. 18 *	8	Рис. 23 *	13	Рис. 28 *
4	Рис. 19 *	9	Рис. 24 *	14	Рис. 29 *
5	Рис. 20 *	10	Рис. 25 *	15	Рис. 30 *

* Неуказанные предельные отклонения размеров: H14, h14, ±IT14/2.

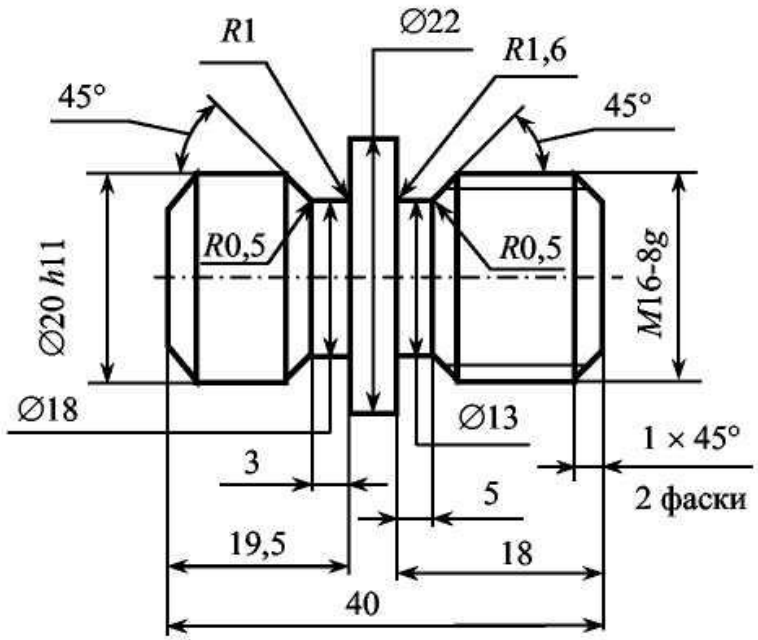
Указать наименование приспособления, охарактеризовать его назначение и область применения.

Вычертить схематический эскиз рабочих элементов приспособления.

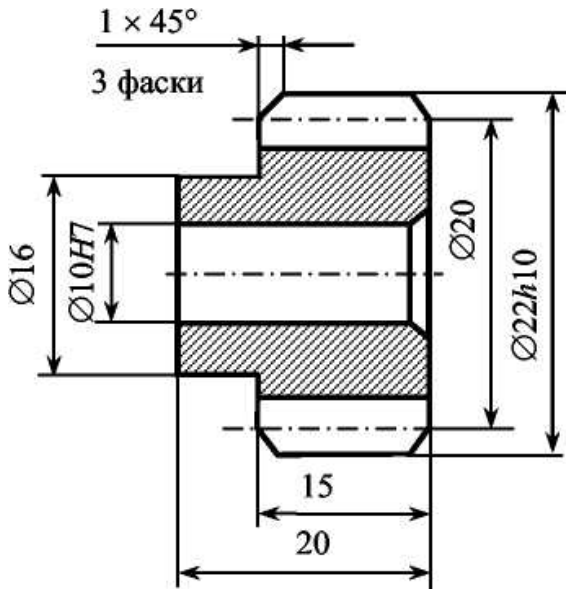
Описать устройство и работу приспособления с указанием применяемого станка, режущего инструмента.

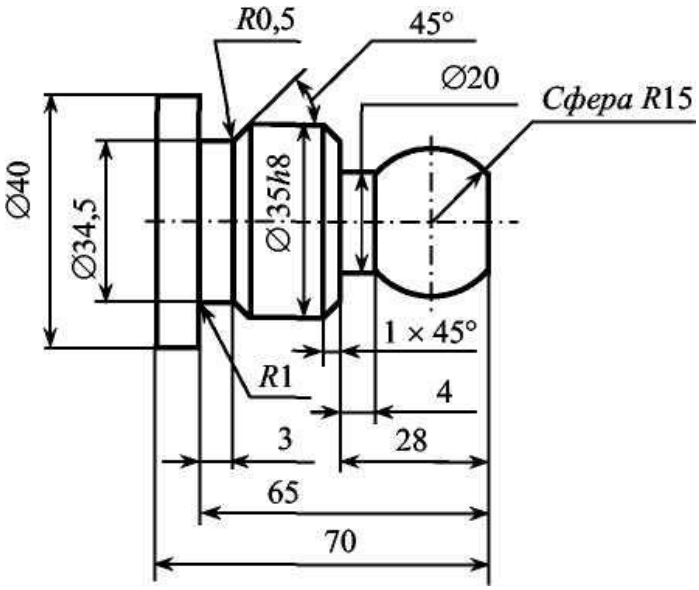
Содержание отчета

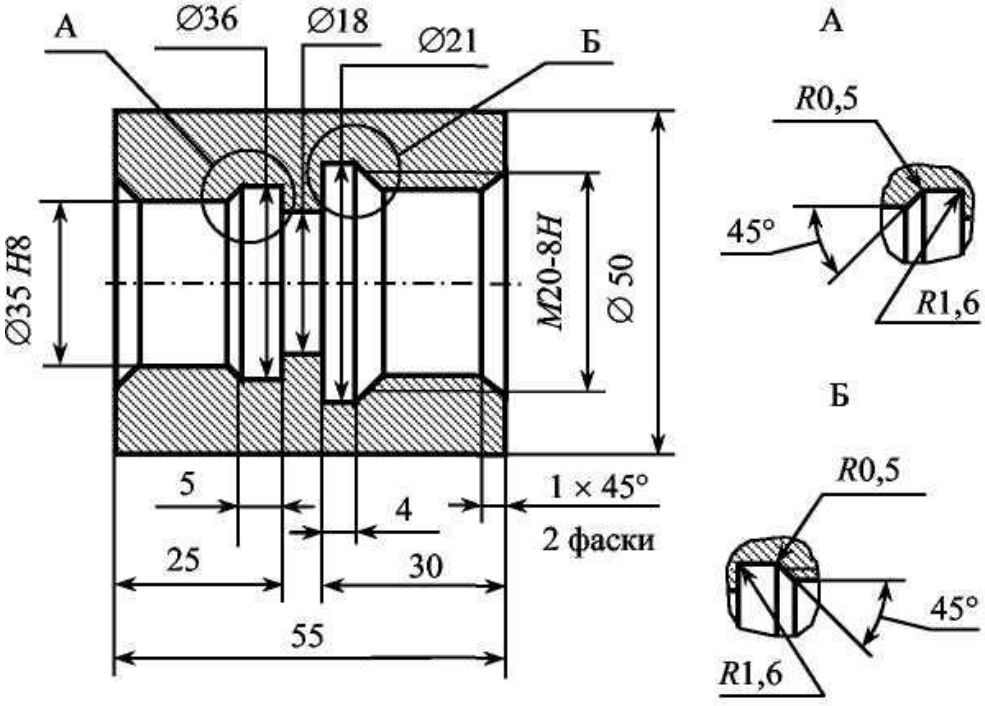
1. Отчет должен быть оформлен на листах формата А4.
2. В отчете должны быть приведены: цель работы, эскиз детали и приспособления, наименование, назначение и область применения приспособления, описание его устройства и работы. и деталей. Комплекты УСП стандартизованы, каждый комплект
3. Эскизы детали и приспособления должны быть выполнены в соответствии с правилами оформления технологического документа - карты эскизов КЭ **[13].**



Модуль, мм	1
Число зубьев	20




R0,5
45°
∅20
Сфера R15
∅40
∅34,5
∅35h8
1 × 45°
R1
4
3
28
65
70


А
∅36
∅18
∅21
Б
∅35 H8
M20-8H
∅ 50
5
4
1 × 45°
2 фаски
25
30
55

А
R0,5
45°
R1,6
Б
R0,5
45°
R1,6

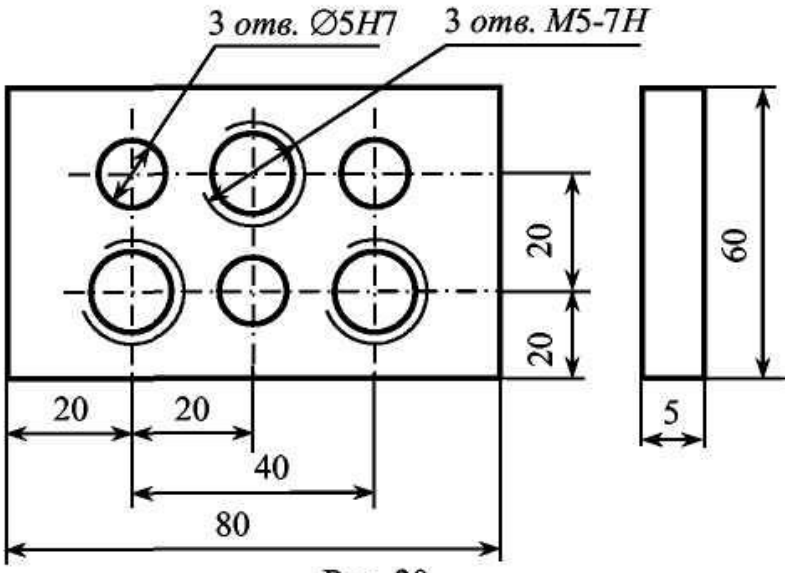
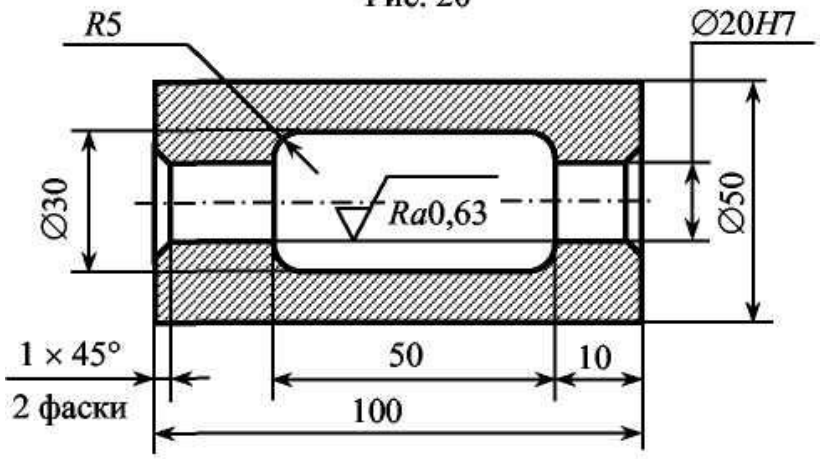
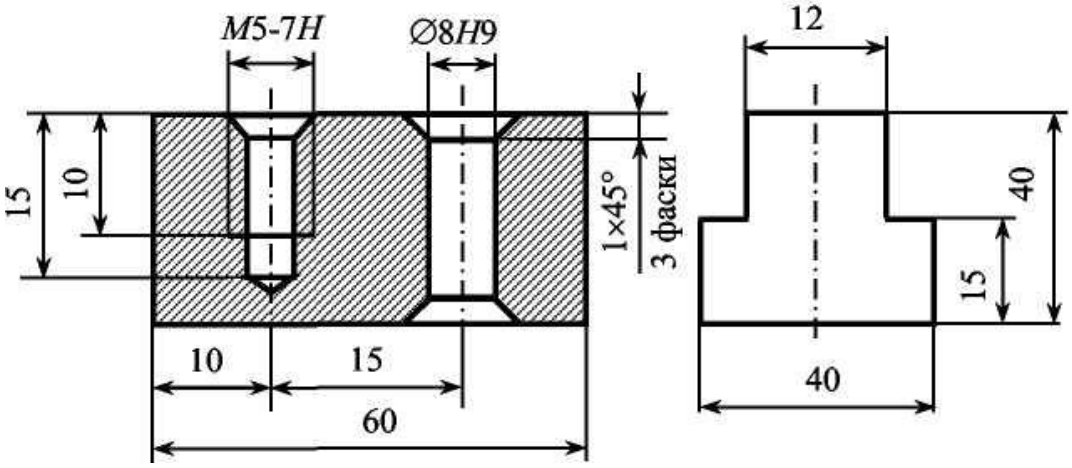
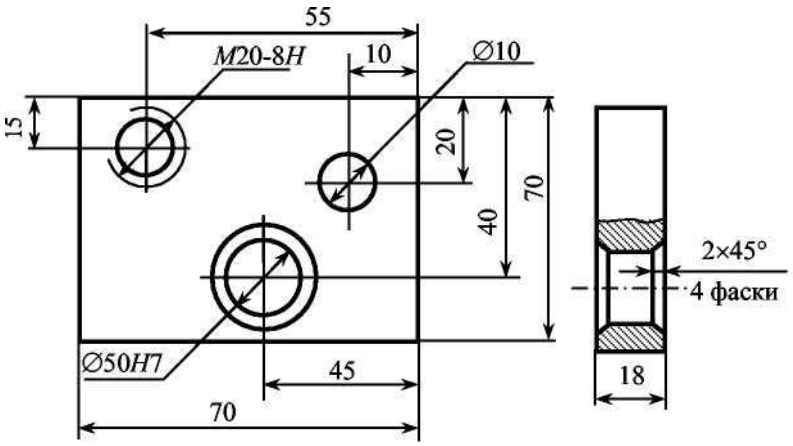
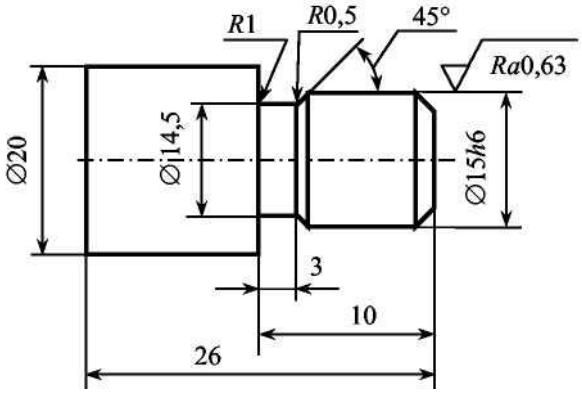

3 отв. ∅5H7
3 отв. M5-7H
20
20
60
20
20
40
80
5

Рис. 20


R5
∅20H7
∅30
Ra0,63
∅50
1 × 45°
2 фаски
50
10
100


M5-7H
∅8H9
12
15
10
1×45°
3 фаски
40
15
10
15
60
40


55
M20-8H
10
∅10
15
20
40
70
2×45°
4 фаски
∅50H7
45
70
18


R1
R0,5
45°
Ra0,63
∅20
∅14,5
∅15h6
3
10
26

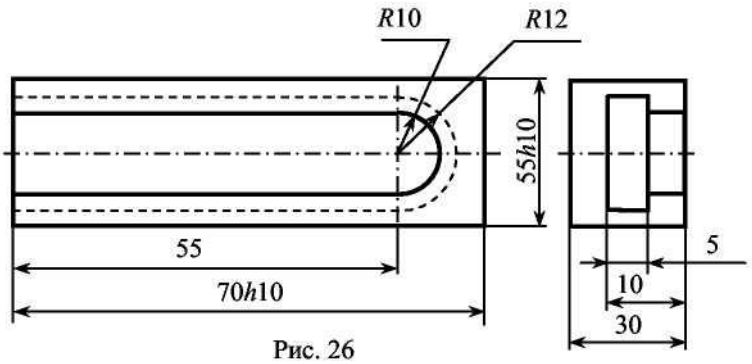

R10
R12
55h10
55
70h10
5
10
30

Рис. 26

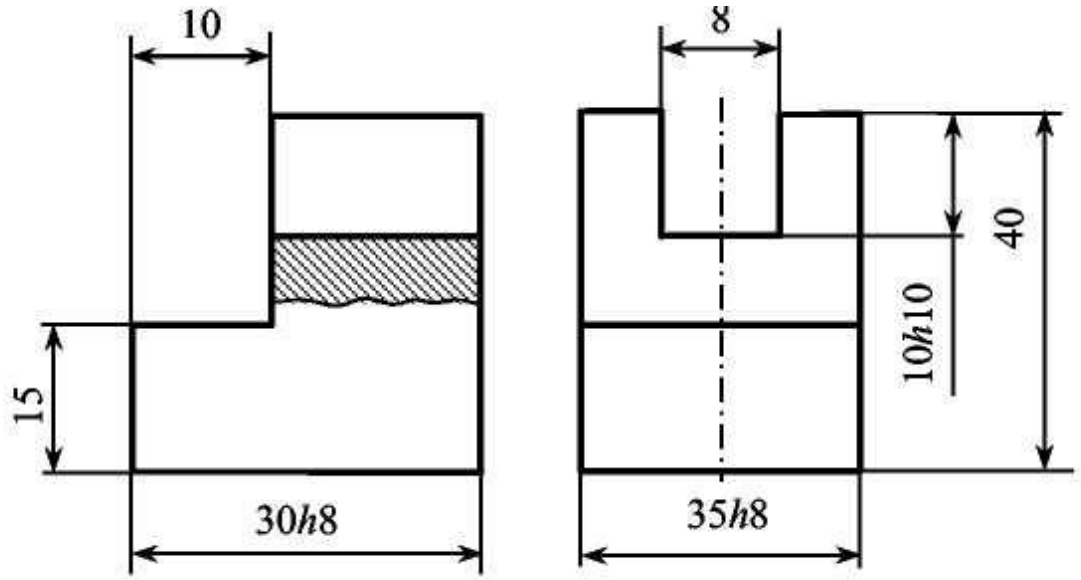

10
8
15
30h8
35h8
10h10
40

Рис. 27

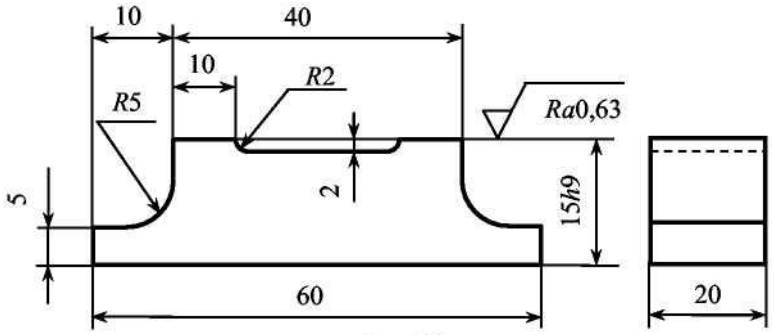
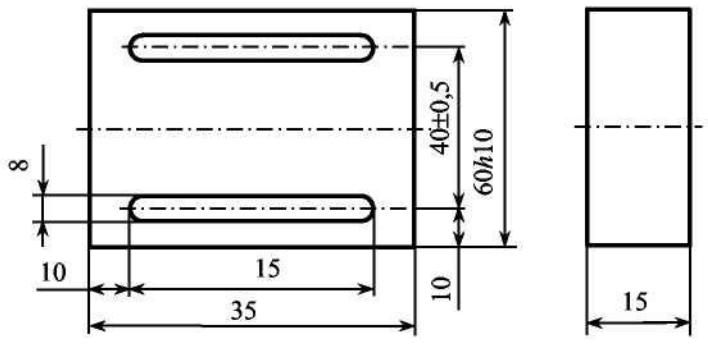
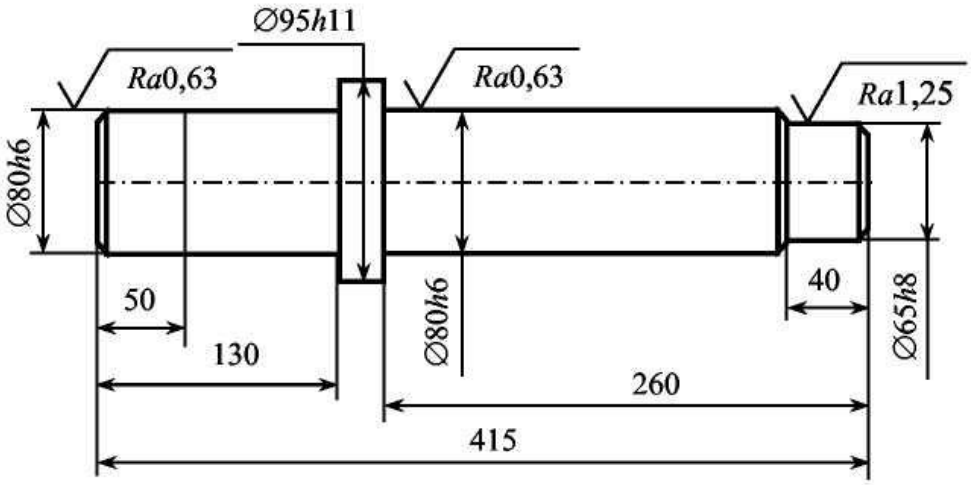
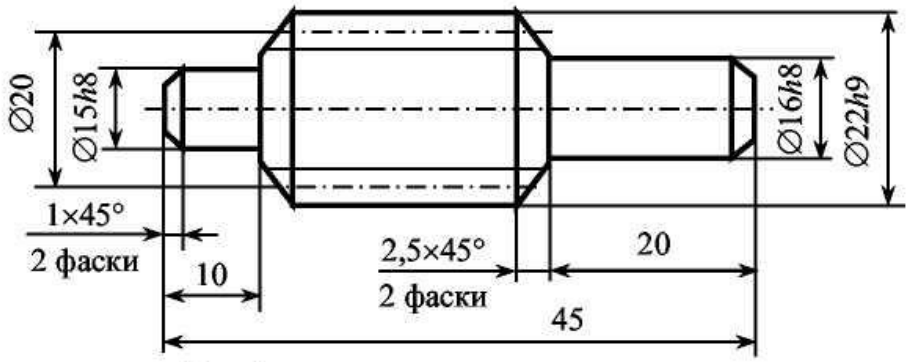

10
40
10
R2
R5
Ra0,63
5
2
15h9
60
20

Рис. 28


8
40±0,5
60h10
10
15
35
10
15





Модуль, мм	1
Число зубьев	20

Рис. 30

Контрольные вопросы

1. Что называется станочным приспособлением?

2. Каковы преимущества применения приспособлений в технологическом процессе?

3. Какие приспособления используются для токарных и круглошлифовальных станков?

4. Каков принцип действия универсального трехкулачкового спирально-реечного патрона?

5. В чем особенности конструкции скальчатых кондукторов?

6. Какие виды тисков применяются на фрезерных станках?

7. Какие виды приспособлений используются для фрезерных станков?

8. Каково устройство и принцип действия делительной головки?

РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕРЖИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: определение усилия зажима заготовки $P_З$.

Краткие теоретические сведения

Основными элементами приспособлений являются установочные, зажимные, направляющие, делительные (поворотные), крепежные детали, корпуса и механизированные приводы.

Их назначение следующее:

установочных элементов - определение положения обрабатываемой заготовки относительно приспособления и относительно режущего инструмента;

зажимных элементов - закрепление обрабатываемой заготовки;

направляющих элементов - осуществление требуемого направления движения инструмента;

делительных или поворотных элементов - точное изменение положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента;

крепежных элементов - соединение отдельных элементов между собой;

корпусов приспособлений (как базовых деталей) - размещение на них всех элементов приспособлений;

механизированных приводов - автоматическое закрепление обрабатываемой заготовки.

Установка заготовок в приспособлениях включает в себя их ба-

зирование и закрепление. Для точной обработки заготовок необходимо осуществлять ее правильное расположение в приспособлении по отношению к устройствам оборудования, определяющим траекторию движения инструмента или самой заготовки, обеспечивать постоянство контакта баз с опорными точками. Силы закрепления заготовки должны предотвращать возможный отрыв заготовок от установочных элементов приспособления, сдвиг или поворот ее под действием сил резания и обеспечить надежное закрепление в процессе обработки.

Силы резания и их моменты определяют по формулам теории резания или по данным нормативных справочников. Силы закрепления должны быть достаточными с некоторым коэффициентом запаса, который рассчитывают как произведение коэффициентов, учитывающих условия обработки.

При конструировании станочного приспособления необходимо произвести расчет усилия зажима $P_З$. Полученное значение $P_З$ используется при выполнении расчетов на прочность элементов зажимных устройств и силовых приводов. Величина усилия зажима определяется, исходя из значений сил резания, условий обработки и состояния поверхностей зажимных устройств.

Определение усилия зажима при точении в зависимости от схемы закрепления деталей в патроне и на оправке

1. Усилие зажима при обтачивании валика с закреплением в патроне (рис. 31)

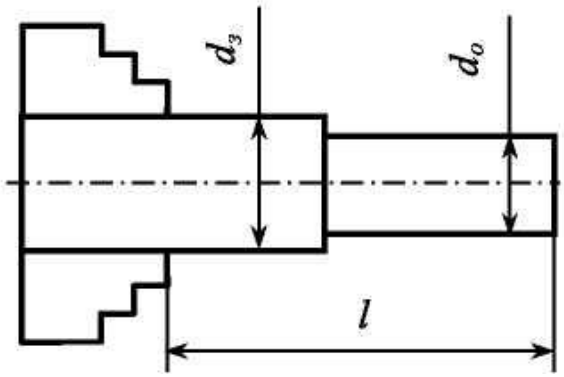


Рис. 31. Схема закрепления заготовки в патроне

При закреплении валика в патроне величина усилия зажима зависит от отношения $l/d_з$ и $dз/d_о$, где l - вылет заготовки - из патрона, $d_з$ - диаметр заготовки, $d_о$ - диметр обработанной поверхности. Чем больше отношение $l/d_з$ и $dз/d_о$, тем больше должно быть усилие зажима.

Составляющие силы резания сводятся к одной результирующей силе R, стремящейся сдвинуть заготовку вдоль оси и повернуть вокруг нее:

$$R = k\sqrt{P_z^2\left(\frac{d_з}{d_о}\right)^2 + P_x^2}$$

где P_x, P_z - составляющие силы резания вдоль осей x, z соответственно; k - коэффициент надежности закрепления, учитывающий влияние составляющей P_y, вылета заготовки из патрона, а также непрерывные изменения величины и направления действующих сил, выбирается из табл. 2.

Таблица 2

$l/d_з$	0,5	1,0	1,5	2,0
k	1,0	1,5	2,5	4,0

Усилие зажима на кулачки патрона $P_з$ равно:

где μ - коэффициент сцепления, зависящий от характера опорной поверхности (для гладких кулачков 0,25; для рифленых -0,3.… 0,5); z - количество кулачков.

2. Усилие зажима при обтачивании закрепленной на цанговой оправке (рис. 32) заготовки

Усилие зажима определяется следующим образом

$$P_з = \frac{k}{\mu}\sqrt{\left(\frac{2M_{рез}}{d_з}\right)^2 + P_x^{\,2} tg(\alpha+\varphi)},$$

где μ - коэффициент сцепления, равный 0,3….. 1; κ - коэффициент надежности, равный 1,2… 1,5; $M_{рез}$ - момент резания, равный P_z-r; r - расстояние от оси до точки приложения силы резания; a - половина угла при вершине конуса цанги; <p - угол трения в цанге

{$tg(p$ = 0,2); $d_з$ - зажимаемый диаметр заготовки.

3. Усилие зажима при обтачивании втулки, закрепленной на жесткой оправке с торцовым зажимом (рис. 33)

$$P_з = \frac{k}{\mu}\sqrt{\left(\frac{2M_{рез}}{d_з}\right)^2}$$

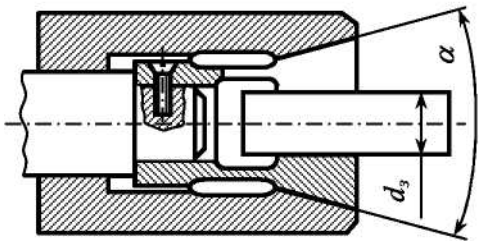


Рис. 32. Схема закрепления заготовки на цанговой оправке

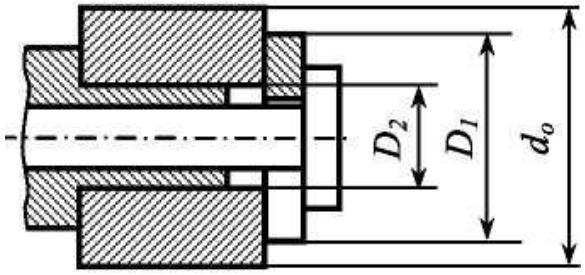


Рис. 33. Схема закрепления на цилиндрической оправке с торцовым зажимом

Усилие зажима определяется следующим образом

$$\frac{kP_z d_o}{(D_1 + D_2)\mu},$$

где μ - коэффициент сцепления, равный 0,1…0,15; k —коэффициент надежности,равный 1,5… 2,5; d_o - диаметр обрабатываемой поверхности; $D1$ - наружный диаметр торцовой шайбы; D_2 - диаметр оправки.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, Материалы

1. Токарно-винторезный станок 1616
2. Токарный трехкулачковый самоцентрирующий патрон.
3. Оправка цанговая.
4. Оправка цилиндрическая.
5. Измерительные инструменты: штангенциркуль ШЦ-125 (ГОСТ 166-89), микрометр МК (ГОСТ 6507-90).

Правила техники безопасности

1. Работать в лаборатории разрешается только после проведения инструктажа.

2. Выполнять только ту работу, которая поручена преподавателем. Не работать на оборудовании и оснастке, не изучив правил техники безопасности.

3. Приступая к выполнению работы, предварительно ознакомиться с устройством токарного станка.

4. По окончании работы навести порядок на рабочем месте.

Порядок выполнения работы

1. По заданным режимам резания (взятым из табл. 3 в соответствии с вариантом) определить значения составляющих усилия резания P_z, P_x, Py

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^{x_p} S^{y_p} v^{n_p} K_{\mu p},$$

где C_p - коэффициент; t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; v - скорость резания, равнаям/мин; $K_№$ - коэффициент (точение без охлаждения); n -частота вращения шпинделя, об/мин.

, $$v = \frac{\pi d_з n}{1000},$$

При продольном наружном точении заготовки из стали 45 с пределом прочности $\sigma_в$ = 750 МПа проходным резцом с углами γ = 15°, ф = 45°, $\lambda = 0°$

$P_x : P_y : P_z$ =1 : 0,45 : 0,35; C_p =300; x_p =1,0;

Таблица 3

Номер вари-анта	Схема за-крепления	dз, мм	do,мм	l, мм	S, мм/об	n, об/мин	α, град	D1, мм	D2,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Рис.9	38	35	25	0,07	315	—	—	—
2	Рис. 10	52	48	32	0,14	400	15	-	-
3	Рис.9	45	40	50	0,21	500	-	-	-
4	Рис. 11	60	58	46	0,28	630	-	25	50
5	Рис.9	75	70	28	0,07	500	-	-	-
6	Рис. 10	32	30	50	0,14	400	10	-	-
7	Рис.9	50	46	40	0,21	315	-	-	-
8	Рис. 11	80	75	65	0,28	400	-	32	56
9	Рис.9	65	60	55	0,07	500	-	-	-
10	Рис. 10	48	45	30	0,14	630	15	-	-
11	Рис.9	78	75	65	0,21	315	—	—	—
12	Рис. 11	86	82	42	0,28	400	-	28	52
13	Рис.9	36	34	46	0,07	500	-	-	-
14	Рис. 10	28	25	52	0,07	630	10	-	-
15	Рис.9	40	36	80	0,14	500	-	-	-
16	Рис.9	44	40	36	0,21	400	—	—	—
17	Рис. 10	36	34	46	0,28	315	15	-	-
18	Рис.9	60	55	50	0,21	400	-	-	-
19	Рис. 11	55	54	36	0,07	500	-	20	40
20	Рис.9	72	68	80	0,14	630	-	-	-
21	Рис. 10	36	32	50	0,21	315	10	—	—
22	Рис.9	46	44	75	0,28	400	-	-	-
23	Рис. 11	86	82	46	0,07	500	-	32	60
24	Рис.9	54	52	40	0,14	630	-	-	-
25	Рис. 10	38	35	50	0,21	500	10	-	-
26	Рис. 11	80	76	62	0,28	630	—	26	52
27	Рис.9	36	34	56	0,07	315	-	-	-
28	Рис. 10	42	40	68	0,14	400	15	-	-
29	Рис. 11	75	70	60	0,21	500	-	28	56
30	Рис.9	40	38	65	0,28	630	-	-	-

$$y_{P_z}=0{,}754;\ n_{P_z}=-0{,}15;\ K_{\mu P_z}=\left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^{n_{P_z}}=\left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^{n_{P_z}},\ \text{где } n=0{,}75.$$

2. Для заданной схемы закрепления заготовки определить усилие зажима.

Результаты вычислений занести в табл. 4.

d_3, мм	d_o, мм	l, мм	v, м/мин	S, мм/об	t, мм	P_z, Н	P_x, Н	R, Н	P_3, Н

Содержание отчета

1. Сведения о зажимных устройствах.

2. Схема закрепления с указанием вылета заготовки, диаметра заготовки и диаметра обработанной поверхности.

3. Расчет усилий резания и результирующего усилия.

4. Определение усилия зажима для заданных режимов обработки.

Контрольные вопросы

1. Как различаются станочные приспособления по назначению?

2. Какие приспособления используются для токарных станков?

3. Какие элементы входят в состав в зажимного устройства?

4. Какие исходные данные необходимо знать для расчета усилия зажима?

5. Каковы факторы, влияющие на величину усилия зажима?

РАБОТА № 4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ТИСКАХ, ПАТРОНЕ

Цель работы: определение погрешности закрепления заготовки в тисках и трехкулачковом патроне.

Краткие теоретические сведения

В результате возникновения случайных погрешностей при обработке партии заготовок на настроенном станке истинный размер каждой заготовки является случайной величиной и подчиняется закону распределения случайной величины - закону нормального распределения (Гаусса).

Рассеяние размеров обрабатываемых заготовок вызывается многочисленными случайными факторами различного характера, оказывающими свое воздействие одновременно и независимо друг от друга. В числе таких факторов: вид обработки; погрешность установки заготовки в приспособлении; погрешность настройки станка.

Погрешность установки заготовки складывается из погрешности базирования $\omega_б$, закрепления $\omega_з$ и приспособления $\omega_{пр}$.

Погрешность базирования в ряде случаев связана с несовпадением измерительной и технологической баз или вызвана особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособления (рис. 35). Погрешность базирования определяется как разность предельных расстояний измерительной базы заготовки относительно установленного на размер инструмента. Выражения для расчета погрешности базирования при различной форме базирующих поверхностей заготовок и установочных элементов

приспособлений приведены в справочной литературе.

Погрешность закрепления возникает при закреплении заготовки в приспособлении, при этом во многих случаях происходит перемещение заготовки (выжимание из приспособления) и появление зазора между базирующей поверхностью заготовки и соответствующей установочной поверхностью приспособления (рис. 36). Изменение перемещения заготовки при ее закреплении в приспособлении в большинстве случаев определяется экспериментальным путем.

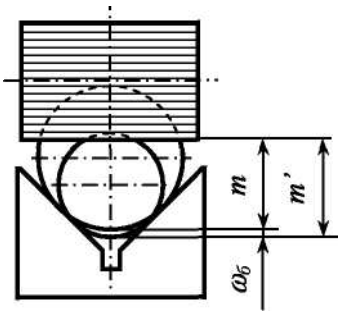


Рис. 35. Возникновение погрешности базирования

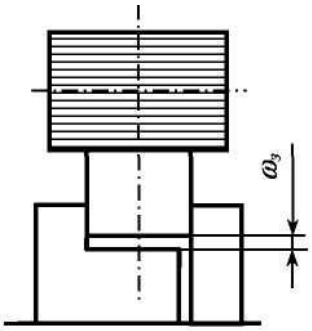


Рис. 36. Погрешность закрепления

Погрешность приспособления зависит от погрешности изготовления и сборки приспособления, его износа и неточности установки на станке.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы

1. Тиски станочные, подкладки.
2. Патрон трехкулачковый.
3. Станок вертикально-фрезерный.
4. Станок токарно-винторезный.
5. Образцы деталей.
6. Измерительные инструменты: индикаторная головка со стойкой, штангенциркуль.

Правила техники безопасности

1. Работать в лаборатории разрешается только после проведения инструктажа. Не работать на оборудовании и оснастке, не изучив правил техники безопасности.

2. Выполнять только ту работу, которая поручена преподавателем.

3. Перед началом работы на металлорежущих станках необходимо: привести в порядок рабочую одежду - застегнуть обшлага рукавов; заправить концы одежды так, чтобы не было развевающихся концов; волосы убрать под головной убор; привести в порядок рабочее место, убрать все лишнее со станка, осмотреть и подготовить для работы режущий, измерительный, крепежный инструмент и приспособления; предварительно ознакомиться с устройством станка по его описанию, после чего проверить ис-

правность станка на холостом ходу.

4. Во время работы на металлорежущих станках необходимо: перед включением станка убедиться, что его пуск никому не угрожает опасностью; применять указанные в операционной карте режимы резания.

5. Во время работы категорически запрещается снимать и открывать ограждения и предохранительные устройства станка.

6. По окончании работы навести порядок на рабочем месте.

Порядок выполнения работы

1. Установить станочные тиски и индикаторную стойку на столе вертикально-фрезерного станка (рис. 37).

2. Установить заготовку 2 в тиски на подкладку 3 и рукой прижать к неподвижной губке 1 тисков. В этом положении индикатору 5 дать натяг и установить его стрелку на нуль.

3. Многократно закрепить и раскрепить заготовку в тисках, перемещая подвижную губку 4 тисков и фиксируя каждый раз показания индикатора, при этом применять следующие способы установки и закрепления заготовки:

- заготовка свободно кладется на подкладку тисков и зажимается от руки с произвольным усилием зажима;

- заготовка свободно кладется на подкладку тисков, после чего производится легкое предварительное зажатие тисков; затем легким постукиванием молотка по заготовке плотно прижимают ее к подкладке и производят проверку плотности прилегания заготовки путем по-

пытки вынуть прокладку из-под нее; если подкладка плотно прижата

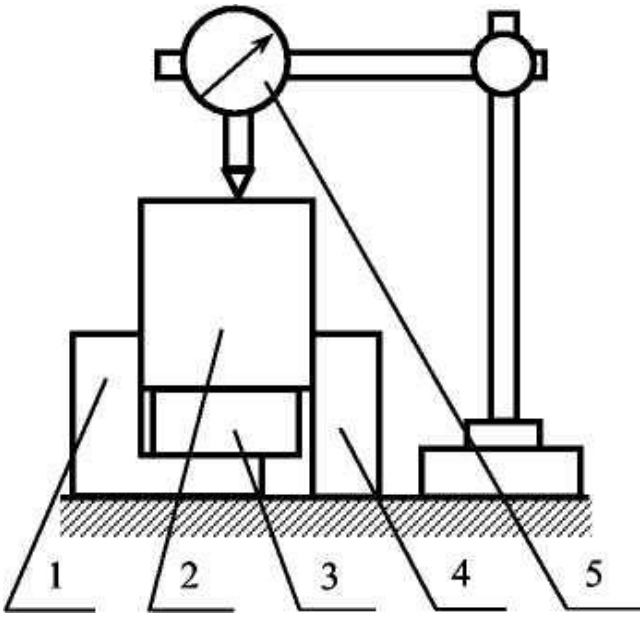


Рис. 37. Схема установки заготовки в тисках

заготовкой, то производится окончательный зажим тисков. Каждый способ установки повторить 25 … 30 раз. Обработать результаты замеров, сгруппировав их в восьми - десяти интервалах и определяя среднее взвешенное арифметическое значение действительных размеров погрешности закрепления, равное $\omega_{з.ср} = 1 \sum \omega_з.im_i$, и σ- среднее квадратическое отклонение, равное $a = Л—J^{ct)_{3l}}$-,-$(o_{3cp}jm_t$, где /и, - частота (т.е. количество величин погрешности данного интервала размеров); n - количество всех измерений. Все полученные результаты занести в табл. 6. Построить график осевых смещений для различных способов установки и закрепления заготовки.

4. Установить на шпинделе токарно-винторезного станка трехкулачковый патрон.

Таблица 6

Способ установки и закрепления заготовки	Интервал,м	Частота тг	Частость m/n	Среднее арифметическое значение ωср, мм	Среднее квадратическое отклонение σ, мм

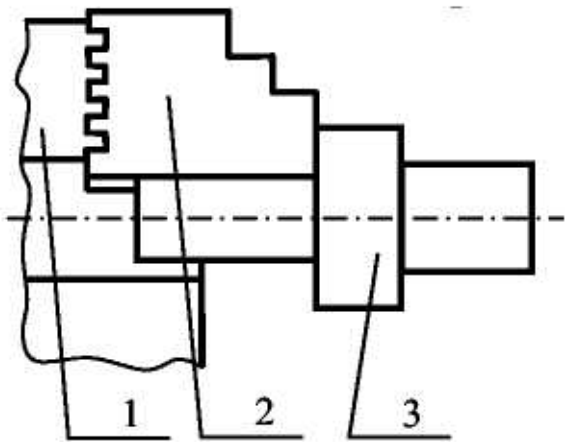


Рис. 38. Схема установки заготовки в трехкулачковом патроне

5. Установить обрабатываемую заготовку 3 в патрон 1 и, не закрепляя ее плотно, прижать буртиком к торцевым поверхностям кулачков 2 (рис. 38). В этом положении подвести суппорт с укрепленным в державке резцедержателя индикатором, измерительный наконечник которого должен касаться торца закрепляемой заготовки по линии центров с натягом 1 …. 2 мм; после чего закрепить суппорт и установить стрелку индикатора на нуль.

6. Многократно закрепляя заготовку (25…30 раз), при каждой ее повторной установке записывать показания индикатора, фиксирующего действительную величину погрешности $\omega_з$.

7. Обработать результаты замеров (см. п. 4), занести полученные

данные в табл. 7. и построить график осевых смещений.

Таблица 7

Интервал, мм	Частота	Частость m/n	Среднее арифметическое значение $\omega_{ср}$, мм	Среднее квадратическое отклонение σ, мм

Содержание отчета

1. Сведения об используемых приспособлениях и измерительных средствах (наименование, цена деления).
2. Эскизы схем установки заготовок с простановкой размеров.
3. Заполненные табл. 6 и 7.
4. Построенные графики осевых смещений.

Контрольные вопросы

1.Какие факторы влияют на точность обработки партии заготовок?

2. Из каких составляющих складывается погрешность установки заготовки в приспособлении?

3. Чем вызвана погрешность базирования заготовок?

4. Вследствие чего возникает погрешность закрепления заготовок?

5. Чем обусловлено возникновение погрешности приспособления?

РАБОТА № 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЕЗНАЛАДОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Универсальные безналадочные приспособления (УБП) применяются в единичном и серийном типе производства для установки и закрепления обрабатываемой заготовки с различной формой и различными габаритами. К ним относятся универсальные патроны, тиски, поворотные столы и т. д.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Изучить конструкцию 4-х кулачкового патрона (привести схему и дать описание его работы).

1. Изучить конструкцию 3-х кулачкового самоцентрирующего патрона (**привести схему патрона и дать описание его работы**).
2. Изучить конструкции 2-х типов люнетов (подвижного и неподвижного) и **дать их схемы и способ монтажа на станке**.
3. Изучить конструкции поводковых устройств, используемых на токарных и шлифовальных станках (**привести схемы**).
4. Изучить конструкции патронов, используемых для крепления сверл на сверлильных и токарных станках (**привести схемы**).
5. Изучить конструкции машинных тисков (**привести схему работы**).
6. Рассчитать усилие зажима в тисках при сверлении сквозного отверстия заданного диаметра.
7. Рассчитать усилие зажима в тисках при фрезеровании заданной поверхности

В ответах должны быть приведены ***эскизы, поясняющие работу*** универсального безналадочного приспособления.

Таблица 2

Варианты заданий

Вариант	Диаметр детали, мм	Ширина фрезерования и глубина резания, мм	Диаметр отверстия, мм	Материал
1	30	10/2	10	Ст 40
2	40	10/3	20	Ст 35
3	50	15/4	10	Ст 45
4	60	15/5	10	Сталь 40ХНМА
5	70	20/5	20	Сталь 30ХГС,
6	80	20/10	30	Ст 40
7	90	50/1	12	Ст 40Х
8	100	40/10	15	Ст 40 Х
9	90	15/1	25	Ст 45Х
10	80	30/5	20	Ст 45Х
11	70	40/10	5	Ст 40Х
12	60	12/1	10	Ст 5

ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И ИСХОДНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗАЖИМНОГО УСИЛИЯ

Величину необходимого зажимного усилия W, как правило, определяют на основе решения задачи статики, рассматривая равновесие детали под действием приложенных к ней сил и моментов. предварительно необходимо составить расчетную схему, т.е. изобразить на схеме установки заготовки все силы, действующие на заготовку: силы и моменты резания, зажимные усилия, реакции опор и силы трения в местах контакта заготовки с установочными элементами и зажимными устройствами. Расчетную схему следует составлять для наиболее неблагоприятного варианта местоположения режущего

инструмента по длине обрабатываемой поверхности, когда для удержания заготовки от перемещения или поворота под действием сил и моментов резания требуется приложить наибольшее зажимное усилие.

Пользуясь расчетной схемой, следует установить направление возможного перемещения или поворота заготовок под действием сил и моментов резания, определить величину проекций всех сил на направление перемещения и составить уравнение сил и моментов.

В случае использования принципа возможных перемещений [1] составить уравнения элементарных работ в направлении перемещения заготовка, т.е. $\Sigma \delta A = 0$.

Так как в производственных условиях всегда возможны отступления от тех условий применительно в которым рассчитывались по нормативам силы и моменты резания, то возможны отклонения величин сил и моментов резания от расчетных. В большинстве случаев будет иметь место увеличение сил и моментов резания их, величин, рассчитанных или взятых из таблиц нормативов по режимам резания. Поэтому возможное увеличение сил и моментов резания следует учесть введением коэффициента надежности закрепления (K) путем умножения на него сил и моментов резания, входящих в составленные уравнения статики или динамики.

На основании решения уравнения получают формулы для расчета зажимного усилия W, обеспечивающего надежное закрепление заготовки. Сказанное проиллюстрируем примерами.

Пример 1.

На операции фрезерования плоскости (рис. 3, *а*) при принятом методе установки и схеме закрепления заготовки под действием сил резания может только поворачиваться относительно точки *О*.

Из условия равновесия заготовки (рис.3, *а*) уравнение моментов будет $$W \cdot a + F \cdot l = P_z \cdot b + P_V \cdot l$$

После подстановки значения $F = f \cdot W$ и введения коэффициента надежности *K* уравнение примет вид

$$W \cdot a + f \cdot W \cdot l = K(P_z \cdot b + P_V \cdot l),$$

откуда

$$W = \frac{K(P_z \cdot b + P_V \cdot l)}{a + f \cdot l},$$

где *f* – коэффициент трения между заготовкой и зажимными устройствами. Обозначения остальных величин даны на рис. 3, *а*.

Используя принципы возможных перемещений, исходное уравнение для нахождения зажимной силы *W* (по примеру 1) будет иметь вид:

$$Mp_z \cdot \delta\varphi + Mp_V \cdot \delta\varphi + M_W \cdot \delta\varphi + M_F \cdot \delta\varphi = 0,$$

или $$Mp_Z + Mp_V + M_W + M_F = 0.$$

Раскрывая значение моментов (взятых относительно т. *О*) и силы трения и вводя коэффициент надежности *K*, уравнение примет вид

$$W \cdot a + W \cdot l \cdot f = K(P_Z \cdot b + P_V \cdot l).$$

откуда

$$W = \frac{K(P_Z \cdot b + P_V \cdot l)}{a + f \cdot l},$$

т.е. получили то же самое значение.

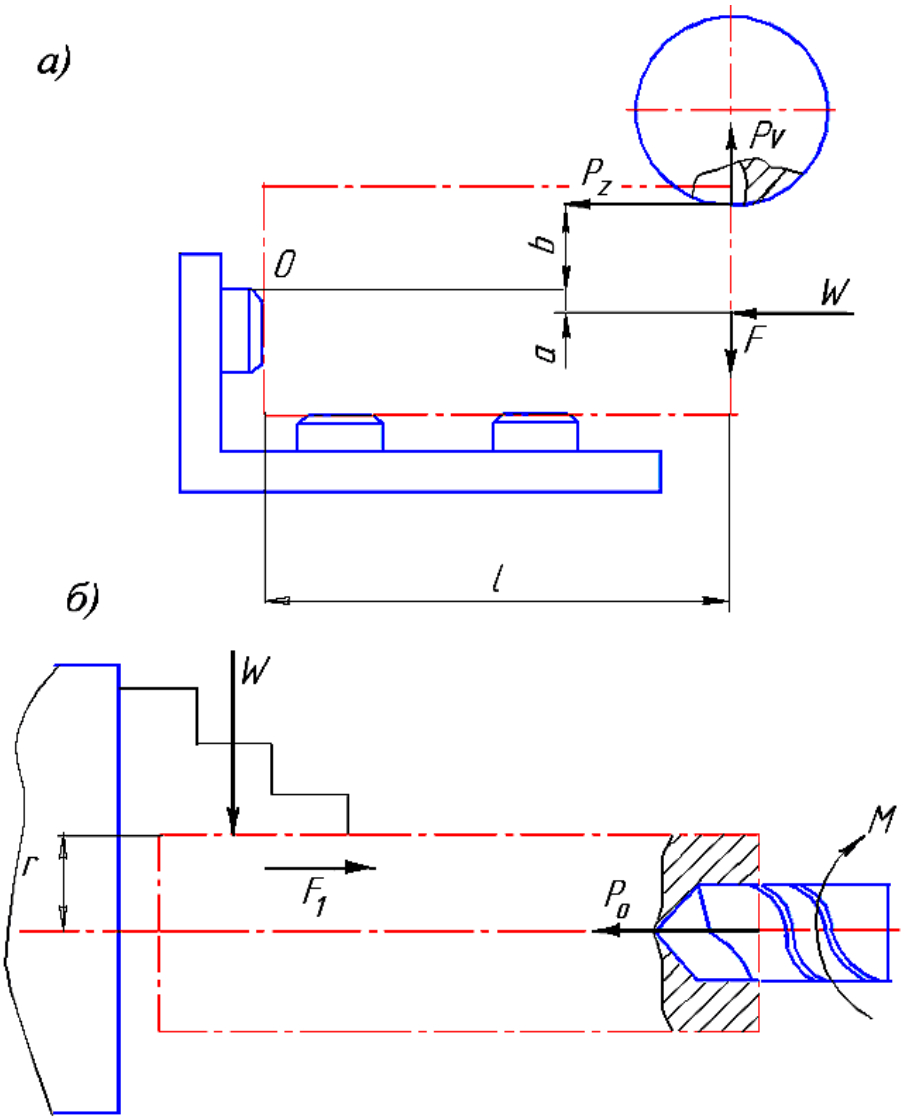


Рис. 3. Расчетные схемы

Пример 2.

При сверлении отверстия в заготовке, закрепленной в трехкулачковом патроне (рис. 3, *б*), она может перемещаться вдоль кулачков

под действием силы резания $\boldsymbol{P_0}$ (усилие подачи) и провертываться в кулачках под действием момента резания $\boldsymbol{M}$.

Необходимо приложить такое зажимное усилие, чтобы не было ни перемещения, ни провертывания детали относительно кулачков. В зависимости от формы насечки на кулачках, сопротивление перемещению и провертыванию может быть различным, так как при этом могут быть различными коэффициенты трения.

Допустим, что при перемещении заготовки в кулачках вдоль её оси коэффициент трения будет f_1, а при провертывании f_2. Тогда силы трения между кулачком и заготовкой будут составлять

при перемещении $F_1 = f_1 \cdot W$,

при провертывании $F_2 = f_2 \cdot W$.

Определим величину зажимного усилия при условии недопустимости перемещения заготовок в кулачках. Пользуясь принятыми обозначениями (рис. 3, *б*) и имея в виду, что у патрона три кулачка, составим уравнение сил: $3F_1 = P_0$.

После подстановки значения F_1 и введения коэффициента K уравнение примет вид $3f_1W = KP_0$

откуда

$$W = \frac{K \cdot P_0}{3 \cdot f_1} \text{ (на один кулачок).}$$

Теперь определим величину зажимного усилия при условии недопустимости провертывания заготовки в кулачках.

Так как заготовка зажата в трех кулачках, уравнение моментов будет иметь следующий вид: $3F_2 \cdot r = M$,

где M – момент сил резания;

F_2 – сила трения между кулачком и деталью при провертывании последней;

r – радиус наружной цилиндрической поверхности детали на участке закрепления её в кулачках.

После подстановки значения F_2 и введения коэффициента $\boldsymbol{K}$ уравнение примет вид

$$3F_2 \cdot r = 3 f_2 \cdot W \cdot r = K \cdot M ,$$

откуда

$$W = \frac{KM}{3 f_2 \cdot r} \text{ (на 1 кулачок).}$$

После подстановки численных данных в конечные формулы по примеру 2 получим два значения величины зажимного усилия $\boldsymbol{W}$. В качестве расчетного следует брать максимальное значение.

В примере 2 принцип возможных перемещений дает исходные уравнения из условия перемещения заготовки:

$$F_1 \cdot \delta S + P_0 \cdot \delta S = 0 \text{ или } F_1 + P_0 = 0,$$

при провертывании заготовки

$$M_{F2} \cdot \delta\varphi + M\delta\varphi = 0 \text{ или } M_{F2} + M = 0.$$

Раскрывая значение сил и моментов трения и вводя коэффициент надежности K, получим:

$$W \cdot f_1 = K \cdot P_0, \text{ откуда } W = \frac{KP_0}{f_1} \text{ (на 3 кулачка),}$$

$$W \cdot f_2 = K \cdot M \text{ , откуда } W = \frac{KM}{f_2 r} \text{ (на 3 кулачка)}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НАДЕЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ "*К*" И ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

Таблица 3

Значения коэффициента трения

Характеристика контактируемых поверхностей	Значение f
А. Контактируемая пара деталь – установочный элемент. Обработанная поверхность заготовки контактирует с плоскостью опорных пластин, с плоскостью магнитной плиты и т.п.	0,10 – 0,15
Обработанная поверхность детали контактирует с установочным элементом по линии (установка на призму) или сфере (установка на опорный штырь со сферической головкой)	0,18 – 0,3
Необработанная поверхность детали контактирует с закаленным насеченным элементом (установка на опорные штыри с насеченной головкой)	0,5 – 0,8
Б. Контактируемая пара зажимной элемент-деталь. Контактный элемент с плоской контактной поверхностью при закреплении соприкасается с плоской обработанной поверхностью детали	0,1 – 0,15
Контактный элемент при закреплении соприкасается с цилиндрической поверхностью детали (при установке в кулачках, в цанге и т.п.):	
при гладкой поверхности контактного элемента	0,25
поверхность контактного элемента имеет кольцевые канавки	0,35
поверхность контактного элемента имеет крестообразные канавки	0,45
Контактный элемент, имевший кольцевые канавки соприкасается с необработанной поверхностью детали	0,4 – 0,5
Контактный элемент, имеющий насечку на контактной поверхности, соприкасается с необработанной поверхностью детали	0,5 – 0,8

Значение коэффициента надежности закрепления ***К***, введенного в уравнения, следует выбирать дифференцированно в зависимости от конкретных условий выполнения операции и способа закрепления заготовка. Величину коэффициента ***К*** можно представить как произведение первичных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора **[2].** Следовательно,

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \ .$$

Коэффициент K_0, представляющий собой гарантированный коэффициент запаса надежности закрепления, для всех случаев следует брать равным 1,5.

Таблица 4

Значения коэффициента K_2

Способы обработки	Компонент сил резания	Значение	Обрабатываемый материал
Сверление	Крутящий момент Осевая сила	1,15 1,10	Чугун
Предварительное зенкерование	Крутящий момент Осевая сила	1,3 1,2	Чугун при износе по заданной поверхности 1,5мм
Предварительное точение	Тангенциальная сила Радиальная сила Сила подачи	1,0 1,4 1,2 1,6 1,25	Сталь и чугун Сталь Чугун Сталь Чугун
Цилиндрическое предварительное и чистовое фрезерование	Окружная сила	1,75 –1,90 1,2 – 1,4	Вязкие стали Твердые стали и чугуны
Торцевое предварительное и чистовое фрезерование	Окружная сила	1,75 –1,90 1,2 – 1,4	Вязкие стали Твердые стали и чугуны

Коэффициент K_1, учитывает увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовках. Для черновой обработки K_1 = 1,2, для чистовой K_1 = 1,0.

Коэффициент K_2 учитывает увеличение силы резания вследствие затупления инструмента. Значения K_2 приведены в табл. 4, а значение остальных коэффициентов в табл. 5.

Приведенные значения коэффициентов $K_0 – K_6$ позволяют определить величину K для проектируемого приспособления с учетом

конкретных условий выполнения операций.

Таблица 5

Значения коэффициентов K_3, K_4, K_5 и K_6

Обозначение коэффициента	Фактор, учитываемый введением коэффициента	Значение коэффициента	
K_3	Увеличение силы резания при прерывистом резании	1,2	- при точении
K_4	Непостоянство зажимного усилия	1,3 1,0	- для ручных зажимных устройств; - для пневматических и гидравлических устройств
K_5	Степень удобства расположения рукояток в ручных зажимных устройствах	1,0 1,2	- при удобном расположении и малой длине рукоятки; - при диапазоне угла отклонений рукоятки 90°
K_6	Неопределенность из–за неисправностей места контакта детали с установочными элементами, имеющими большую установочную поверхность	1,0	- для установочного элемента, имеющего ограниченную поверхность контакта с деталью
	Учитывая только при наличии момента, стремящегося повернуть деталь	1,5	- для установочного элемента

Сверление [3]

При сверлении глубина резания t – 0,5D.

Подача. При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 2.6).

Скорость резания. Скорость резания, м/мин, при сверлении

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v .$$

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в (табл. 6), а значения периода стойкости T – (в табл. 2.30).

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{мv} K_{иv} K_{lv}.$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1.7); $K_{ПV}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл.1.9); $K_{ИV}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл.1.8).

Крутящий момент, Н·м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

При сверлении:

$$M_{кр} = 10 C_м D^q S^y K_р; \quad P_о = 10 C_р D^q S^y K_р.$$

Значения коэффициентов $C_м$ и $C_р$, и показателей степени приведены в (табл. 7).

Таблица 6

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал:	Материал режущей части инструмента	Подача S, мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в$ = 750 МПа	Р6М5	≤0,2 >0,2	7,0 9,8	0,40	0,70 0,50	0,20	Есть
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т, *НВ* 141		–	3,5	0,50	0,45	0,12	
Чугун серый, *НВ* 190		≤0,3 >0,3	14,7 17,1	0,25	0,55 0,40	0,12 5	Нет
	ВК8	–	34,2	0,45	0,30	0,20	

Примечание: Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке, При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{3v} = 0{,}75$.

Таблица 7

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
		Крутящего момента				Осевой силы			
		C_M	q	x	y	C_p	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь $\sigma_в = 750$ МПа	Быстрорежущая сталь	0,034	2,0	–	0,8	68	1,0	–	0,7
Серый чугун *НВ* 190	Твёрдый сплав	0,012	2,2	–	0,8	42	1,2	–	0,75
	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	42,7	1,0	–	0,8
Ковкий чугун *НВ*150	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
	Твёрдый сплав	0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75

Примечание: Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для свёрл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза.

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением

$$K_p = K_{мр}$$

Значения коэффициента $K_{мр}$ приведены для стали и чугуна в (табл. 8).

Таблица 8

Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени ***n*** при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеровании	Окружной силы резания Pz при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$ МПа: ≤600 >600	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	0,75/0,35 0,75	0,75/0,75 0,75/0,75	0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание: В числителе приведены значения показателя степени ***n*** для твердого сплава, в знаменателе для быстрорежущей стали.

Фрезерование[3]

Глубина фрезерования *t* и ширина фрезерования *B* – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании.

Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, *t* определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; *t* измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования *B* определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в реза-

нии; B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб S_z, подачу на один оборот фрезы S и подачу минутную $S_м$, мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$S_м = S\, n\ = s_z\, z\, n,$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб S_Z. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл.,2.28.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v .$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в (табл. П2.2.3), а периода стойкости T – в (табл. 2.30).

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания:

$$K_v = K_{мv} K_{пv} K_{иv},$$

где $K_{мv}$ – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1.7); $K_{пv}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 1.9); $K_{иv}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 1.8).

Таблица 8

Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеровании	Окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$ МПа: ≤600 >600	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	 0,75/0,35 0,75	 0,75/0,75 0,75/0,75	 0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{мр} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание: В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе для быстрорежущей стали.

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании – окружная сила, Н

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B_z^u}{D^q n^w} K_{мр},$$

где z – число зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в (табл. 9), поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала $K_{мр}$ для стали и чугуна – в (табл. 8). Величины остальных составляющих силы резания: горизонтальной (сила подачи) P_h, вертикальной P_v, радиальной P_y, осевой P_x устанавливают из соотноше-

ния с главной составляющей P_z .

Таблица 9

Значения коэффициента C_P и показателей степени в формуле окружной силы P_Z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_P	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа							
Торцовые	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	825 82,5	1,0 0,95	0,75 0,8	1,1 1,1	1,3 1,1	0,2 0
Цилиндрические	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	101 68,2	0,88 0,86	0,75 0,72	1,0 1.0	0,87 0,86	0 0
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	261 68,2	0,9 0,86	0,8 0,72	1,1 1,0	1,1 0,86	0,1 0
Концевые	Твердый сплав Быстрорежущая сталь	12,5 68,2	0,85 0,86	0,75 0,72	1,0 1,0	0,73 0,86	–0,13 0

Примечание: Окружная сила P_z, рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_в$ < 600 МПа) в 1,75 – 1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,2 – 1,4 раза.

(Форма отчета для лабораторных работ № 2)

Студент _____ Группа _____

Отчет по лабораторной работе №2.

Изучение конструкций универсальных безналадочных приспособлений

Схемы приспособлений (эскизы) и описание работы

Режим резания (расчет)

Расчет усилия зажима в тисках при сверлении сквозного отверстия заданного диаметра d =

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тарг С. М.* Краткий курс теоретической механики: Для вузов. – 4 – изд. – М.: Наука, 1966. – 478 с.
2. *Корсаков В. С.* Основы конструирования приспособлений. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1965. – 367 с.
3. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

(Часть 1) для студентов профилизации «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 112 с.

4. *Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. Т. 1* /Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. М.:Машиностроение-1, 2001. -912 с.
5. *Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2* / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. - М.:Машиностроение-1, 2001. - 944 с.

РАБОТА № 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 3-Х КУЛАЧКОВОГО ПАТРОНА ПО ТОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

ХОД РАБОТЫ

1. Установить кулачки патрона ключом на размер, превышающий посадочный диаметр эталонной детали на 0,5 … 1 мм.
2. Установить эталонную деталь в кулачки и подвести наконечник индикатора **к торцу** буртика (обеспечив **натяг 1 – 2** мм).
3. Прижать пальцем буртик эталонной детали к кулачкам и зафиксировать показания индикатора.
4. Закрепить ключом эталонную деталь в патроне и зафиксировать показание индикатора.
5. Подвести наконечник индикатора к цилиндрической части буртика (обеспечив **натяг 1 – 2** мм).
6. Повернуть деталь с патроном на угол > 360° и зафиксировать **торцовое биение буртика** детали по индикатору (абсолютная величина смещения стрелки индикатора).
7. Установить кулачки патрона ключом на размер, превышающий посадочный диаметр эталонной детали на 0,5 … 1 мм.
8. Повернуть деталь в кулачках на любой угол.
9. Повторить выполнение пунктов с 3 по 7-й ***25 раз(!)***.
10. Результаты занести в таблицу.

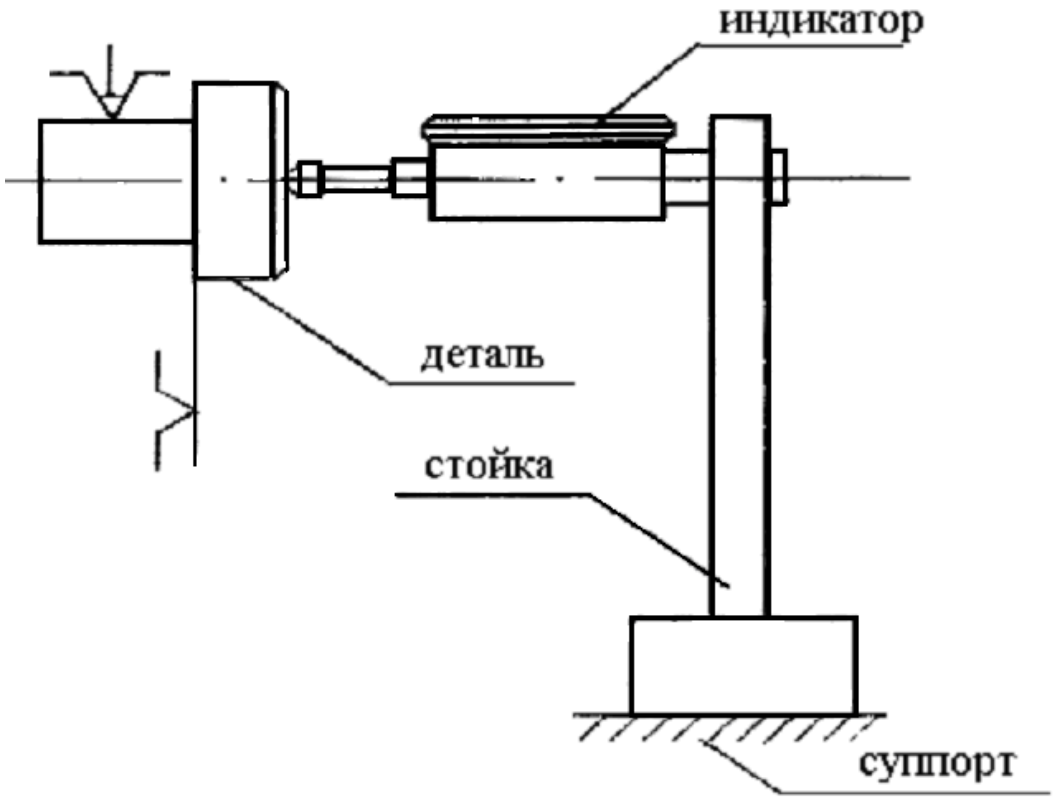


Рис. 6.Схема эксперимента

11. Провести обработку результатов:

а) определить $\overline{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{n}$,

б) определить $S_\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (\Delta_i - \overline{\Delta})^2}{n-1}}$,

где $\overline{\Delta}$ – средняя ошибка закрепления (погрешность);

Δ – ошибки закрепления;

n – число повторений опыта;

S_Δ – ***стандарт ошибки.***

12. Повторить эксперименты по пп. 1…9 на 3-х станках.

13. Провести анализ точности закрепления деталей в 3-х патронах

по $\overline{\Delta}, S_{\Delta}$ и сделать выводы.

14. Провести сравнение величины радиального биения заготовки по Δr для 3-х станков и сделать выводы.

Биения в машинах и механизмах – отклонение от правильного взаимного расположения поверхностей во вращающихся (колеблющихся) цилиндрических деталях машин и механизмов. Радиальное Б. – разность наибольшего $A_{макс}$ и наименьшего $A_{мин}$ расстояний от точек реальной поверхности цилиндрической детали до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном к этой оси (рис. 7); радиальное Б. – результат смещения центра (эксцентриситета) рассматриваемого сечения относительно оси вращения.

Торцовое Б. – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцовой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра (D), до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения (рис. 8); торцовое Б. – результат неперпендикулярности торцовой поверхности к базовой оси и отклонений формы торца по линии измерения.

Б. – вредное явление в машинах и механизмах; они приводят к повышенному износу и выходу из строя деталей машин.



Рис. 7. Схема радиального биения.

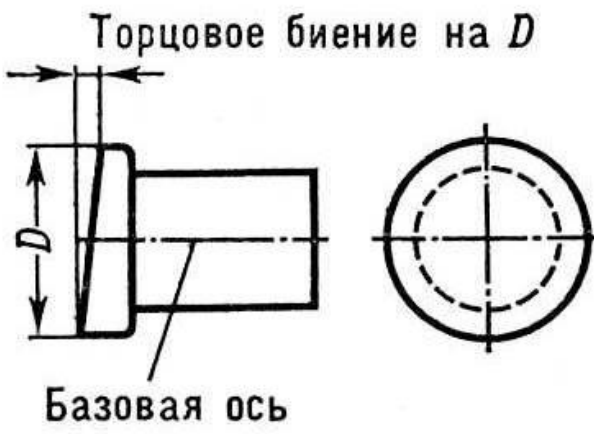


Рис. 8. Схема торцового биения.

(Форма отчета для лабораторной работы № 3)

Студент _____ *Группа* _____

Отчет по лабораторной работе № 3.

Сравнительный анализ 3-хкулачковых патронов

Схема эксперимента

Таблица

Результаты замеров. Станок №

№ опыта	*Показание индикатора*		*Ошибка закрепления*	*Торцовое биение детали при повороте*
	до закрепления	*после закрепления*		
	a_i	a_{i+1}	$\Delta i = a_{i+1} - a_i$	Δr
1				
2				
3				
…				
…				
25				

Обработка результатов

ВЫВОДЫ:

РАБОТА № 7. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ И РАСЧЕТ ГИТАРЫ СМЕННЫХ ШЕСТЕРЕН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ КАНАВОК

Делительные головки являются важнейшими принадлежностями консольно-фрезерных станков, которые расширяют их технологические возможности. Делительные головки служат для периодического поворота заготовки вокруг ее оси на определенный угол (деление на равные или неравные части); установки заготовки под требуемым углом относительно стола; непрерывного вращения заготовки при фрезеровании винтовых канавок большого шага на режущем инструменте или винтовых зубьев зубчатых колес.

Наибольшее распространение имеют универсальные делительные головки (УДГ). Делительная головка (см. рис. 9) состоит из червяка ***K*** (всегда однозаходный, т. е. $k = 1$), а также червячного колеса $Z_{ЧШ}$, имеющего 40, 60 или 80 зубьев и закрепленного на валу *11*. Червяк можно вращать рукояткой *7*, длину (т. е. радиус) которой можно менять и фиксировать с помощью фиксатора *8* на определенной окружности делительного диска *9*, соединенного с корпусом головки. Второй фиксатор *10* удерживает или освобождает делительный диск относительно корпуса делительной головки. Ножки раздвижного сектора *6* позволяют избежать погрешности при отсчете числа отверстий, когда вращают рукоятку, чтобы обеспечить деление.

Принцип деления заключается в том, что однозаходный червяк вращает червячное колесо с числом зубьев 40, 60 или 80. Отношение

$N = Z_{ЧШ} / k$ называют ***характеристикой делительной головки***. Одному обороту рукоятки *7*, т. е. одному обороту червяка, соответствует поворот червячного колеса на один зуб. Таким образом, если червячное колесо имеет 40 зубьев, оно повернется на 1/40 оборота. Для того чтобы заготовка, установленная на делительной головке, повернулась на один оборот, необходимо повернуть рукоятку на 40 оборотов.

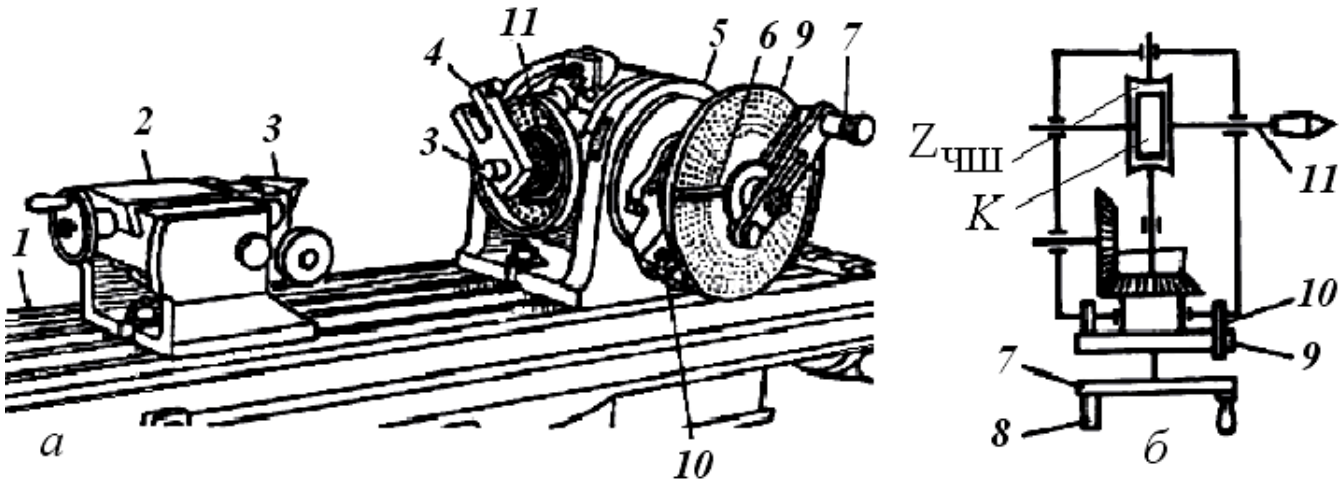


Рис. 9. Делительная головка:
а – установка на фрезерном станке; *б* – кинематическая схема при настройке на простое деление:
1 – стол станка; *2* – задняя бабка; *3* – центры; *4* – оправка; *5* – корпус делительной головки; *6* – раздвижной сектор; 7 – рукоятка настройки; *8* – фиксатор; *9* – делительный диск; *10* – фиксатор (стопор); *11* – шпиндель.

Делительные диски имеют ряды окружностей, на которых расположено определенное число отверстий.

Число отверстий делительного диска:

на одной стороне: 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;
на другой стороне: 33, 37, 39,41, 43, 47, 49, 54.

Применяются следующие способы наладки универсальных де-

лительных головок: для простого деления, дифференциального деления и фрезерования винтовых канавок.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Научиться рассчитывать и настраивать делительную головку на простое, дифференциальное деление и фрезерование винтовых канавок.

ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. По заданию преподавателя рассчитать и начертить кинематические схемы делительной головки:

- для простого деления,
- для дифференциального деления,
- для фрезерования винтовых канавок.

2. Профрезеровать с помощью простого деления заданный многогранник.

3. Дать эскиз фрезы с основными параметрами и углами.

4. Настроить гитару делительной головки для дифференциального деления.

5. Отчет по работе выполняется на специальном бланке.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Метод простого деления

При простом делении вращение шпинделя (рис. 11) передается от рукоятки *7* с фиксатором через червяк *K* и червячное колесо, расположенное в средней части шпинделя. При этом делительный диск *9* должен быть закреплен с помощью стопора *10* относительно корпуса делительной головки.

Простое деление окружности на равные и неравные части проводится с помощью рукоятки *4* с фиксатором. Величина поворота рукоятки отсчитывается по отверстиям на делительном диске и фиксируется стержнем фиксатора.

Настройка головки заключается в определении числа оборотов рукоятки. Величина поворота рукоятки определяется по формуле:

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z},$$

где z – число, на которое требуется разделить обрабатываемую деталь;

N – характеристика делительной головки (передаточное число – основные стандартные значения 30, 40, 60);

$Z_{\text{ЧШ}}$ – число зубьев червячной шестерни;

K – число заходов червяка для данной головки,

$$N = 40; \quad K = 1; \quad Z_{\text{ЧШ}} = 40.$$

Если при вычислении число оборотов рукоятки получится дробным, то его необходимо преобразовать таким образом, чтобы

знаменатель дроби был ***равен числу отверстий на одной из окружностей на делительном диске 9.***

Пример. Требуется профрезеровать 18 канавок. Определить число оборотов рукоятки.

$$n_{\text{р}} = \frac{N}{z} = \frac{40}{18} = 2\frac{4}{18} = 2\frac{2}{9} = 2\frac{2^{\times 6}}{9^{\times 6}} = 2 + \frac{12}{54}.$$

Число 2 показывает, что после фрезерования каждой канавки рукоятку *7* необходимо повернуть на 2 полных поворота и двенадцать отверстий на окружности делительного диска с числом отверстий 54. Итак, для деления заготовки на 18 частей необходимы 2 оборота рукоятки *7* и 12 отверстий на окружности делительного диска *9* с 54 отверстиями. Устанавливаем раздвижной сектор *6* так, чтобы общее число отверстий, заключенных между внутренними сторонами (с фаской) линеек, было 12 + 1 = 13 (т.е. 12 интервалов между отверстиями) и к двум оборотам рукоятки добавляем поворот сектора.

Метод дифференциального деления.

Необходимый поворот шпинделя в случае дифференциального деления осуществляется поворотом рукоятки и делительного диска. Для этого фиксатор *10* (см. рис. 10) должен быть освобожден. Вращение делительного диска будет осуществляться от шпинделя *11* (см. рис. 10) через гитару сменных колес и коническую пару с передаточным отношением $i = 1$. Настройка головки заключается в определении числа оборотов рукоятки (как и в простом делении) и чисел зубьев гитары сменных колес.

Число оборотов рукоятки подсчитывают обычным методом деления, заменяя число делений, на которое нельзя разделить методом простого деления, числом $z_{\text{ПР}}$, близким к нему, но на которое возможно деление.

$$n_{\text{Р}} = \frac{N}{z_{\text{ПР}}}.$$

В этом случае при каждом приеме деления будет возникать погрешность α_x, которая должна компенсироваться дополнительным поворотом делительного диска в ту или иную сторону. Этот поворот обеспечивается гитарой сменных колес $\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}$ или $\frac{a}{d}$ с паразитным промежуточным колесом.

$$\frac{a}{b}\cdot\frac{c}{d}=i_{\text{г}}=\frac{N(z-z_{\text{ПР}})}{z_{\text{ПР}}}.$$

Направление вращения делительного диска должно быть тем же, что и направление вращения рукоятки.

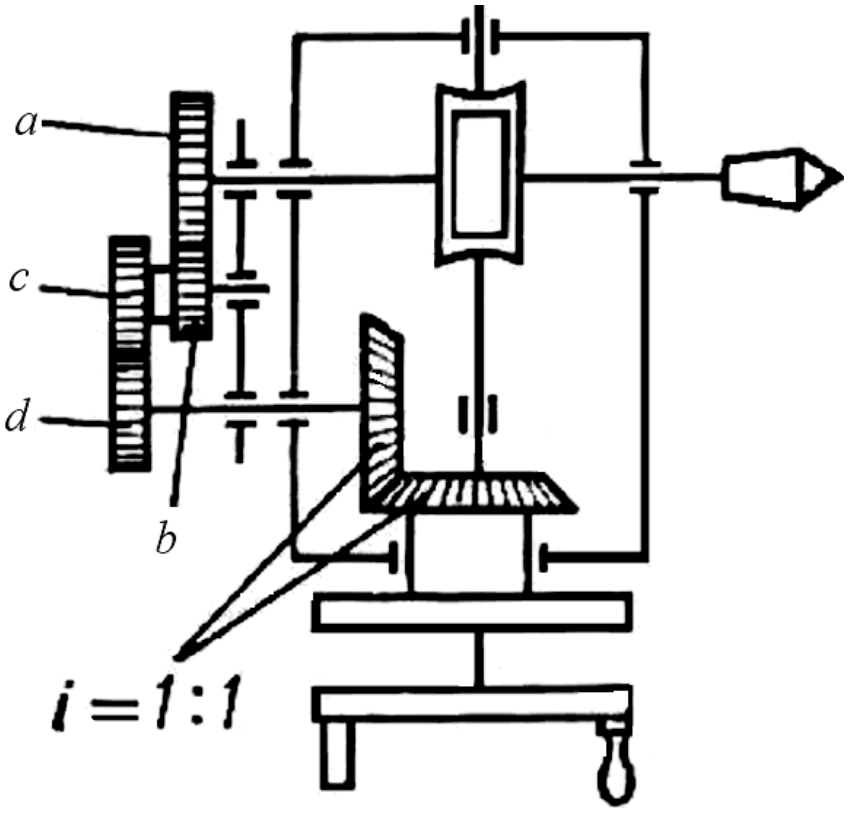


Рис. 10. Кинематическая схема УДГ, настроенной на дифференциальное деление.

Пример. Требуется нарезать шестерню с числом зубьев z = 93. Подбираем вспомогательное число $z_{\text{ПР}}$, близкое к заданному числу зубьев $z_{\text{ПР}}$ = 90.

В этом случае поворот рукоятки при делении определяется как

$$n_{\text{Р}} = \frac{N}{z_{\text{ПР}}} = \frac{40}{90} = \frac{4^{\times 6}}{9^{\times 6}} = \frac{24}{54} \quad \text{оборота.}$$

Передаточное отношение гитары, обеспечивающей деление на 93

$$i_{\text{г}} = \frac{N(z - z_{\text{ПР}})}{z_{\text{ПР}}} = \frac{40 \cdot (93 - 90)}{90} = \frac{120}{90} = \frac{4 \cdot 3}{3 \cdot 3} = \frac{4^{\times 10} \cdot 3^{\times 20}}{3^{\times 10} \cdot 3^{\times 20}} = \frac{40 \cdot 60}{30 \cdot 60}.$$

Получим $a = 40$, $b = 30$, $c = 60$, $d = 60$(см. Таблицу на стр.51).

Количество шестерен в гитаре может быть равным от 2 до 5.

Знак "–" значения передаточного отношения гитары сменных колес $i_{\text{г}}$ означает, что направление поворота делительного диска *9* (рис. 10) осуществляется в противоположную сторону от поворота рукоятки, уменьшая величину поворота рукоятки относительно делительного диска.

Фрезерование винтовых канавок

Фрезерование винтовых канавок производится при продольном перемещении стола фрезерного станка и одновременном вращении детали, закрепленном в делительной головке относительно своей оси. Для согласования вращения детали с продольным перемещением стола устанавливается гитара сменных шестерен, передающая вращение от ходового винта фрезерного станка через пару конических шестерен, червяк и червячное колесо на шпиндель делительной головки *11*. Делительный диск *9* при этом должен быть освобожден от стопора *10* и соединен с рукояткой фиксатором *8* (см. рис. 9 и 11).

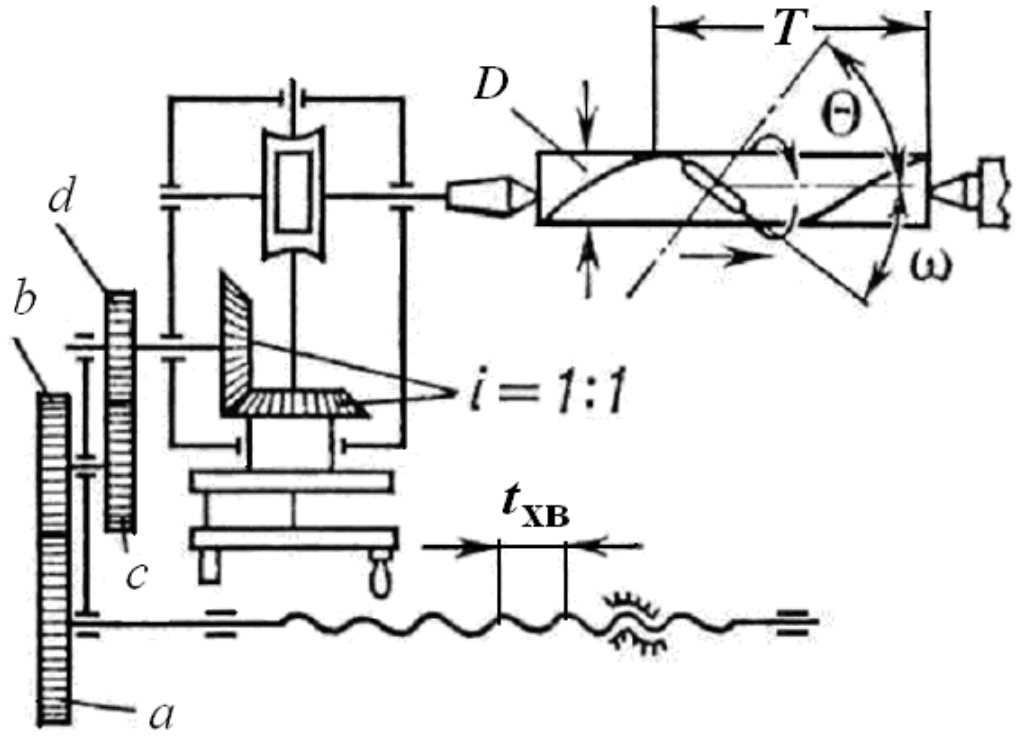


Рис. 11. Кинематическая схема УДГ,
настроенной на фрезерование винтовой канавки.

За один поворот заготовки стол должен перемещаться на величину:

$$1_{\text{ОБ.ЗАГ.}} \cdot \frac{Z_{\text{ЧШ}}}{K} \cdot i_k \cdot \frac{1}{i_{\Gamma}} = \frac{NT}{t_{\text{Х}} \cdot b},$$

$$i_k = 1; \quad \frac{Z_{\text{ЧШ}}}{K} = N; \quad i_{\Gamma} = \frac{t_{\text{ХВ}} \cdot N}{T} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d},$$

где $t_{\text{ХВ}}$ – шаг ходового винта продольной подачи фрезерного станка;

T – шаг нарезаемой винтовой канавки;

N – характеристика делительной головки.

При нарезании винтовых канавок фреза должна быть повернута

на угол наклона винтовой линии заготовки ω. Это достигается поворотом стола на тот же угол, который определяется по формуле

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\pi \cdot D}{T},$$

где D – диаметр обрабатываемой детали.

Следовательно, нарезание винтовых канавок возможно лишь на универсально-фрезерном станке, имеющем поворотный стол.

Пример. Профрезеровать винтовую канавку с шагом $T = 25$ мм: шаг ходового винта $t_{\text{ХВ}} = 6$ мм, диаметр заготовки $D = 12$ мм.

$$i_{\Gamma} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{40 \cdot 6}{25} = \frac{40^{\times 2} \cdot 6^{\times 15}}{1^{\times 2 \times 15} \cdot 25} = \frac{80}{30} \cdot \frac{90}{25}$$ (см. табл. 10).

Таблица 10

Набор сменных шестерен к гитаре сменных шестерен

№	Количество зубьев у шестерни	Количество шестерен в наборе	№	Количество зубьев у шестерни	Количество шестерен в наборе
1	25	2	7	60	2
2	30	2	8	70	2
3	35	2	9	80	2
4	40	2	10	90	2
5	50	2	11	100	2
6	55	2	–	–	–

Формулы для определения:

а) диаметра заготовки шестерни по заданному количеству зубьев и модулю – $D = m(z + 2)$,

б) высоты зуба – $h = 2{,}2 \cdot m$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение делительной головки.
2. В чем заключается настройка делительной головки?
3. На каких станках можно попользовать делительную головку?
4. Какие работы можно выполнять с помощью делительной головки?
5. В чем заключается настройка делительной головки?
6. На каких станках можно производить фрезерование винтовых поверхностей?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горбунов Б.И.* Обработка металла резанием.- М.: Машиностроение. 1981.– 286 с.

2. *Барбашов Ф.А. и др*. Фрезерные и зуборезные работы. -М.: Высшая школа, 1983.– 304 с.

3. Головки делительные универсальные: Техническое описание и инструкция по эксплуатации Ю-42.47.013 ТО, 1978.

СОДЕРЖАНИЕ

РАБОТА № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ, РАСШИРЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНКОВ 2
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИЗУЧЕНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ 10
РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕРЖИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ ЗАЖИМНОГО УСТРОЙСТВА 36
РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК В ТИСКАХ, ПАТРОНЕ 44
РАБОТА № 5. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЕЗНАЛАДОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ 51
РАБОТА № 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 3-Х КУЛАЧКОВОГО ПАТРОНА ПО ТОЧНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЭТАЛОННЫХ ДЕТАЛЕЙ 69
РАБОТА № 7. ИЗУЧЕНИЕ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ИРАСЧЕТ ГИТАРЫ СМЕННЫХ ШЕСТЕРЕН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ И ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВИНТОВЫХ КАНАВОК 73

Сергей Александрович Волегов

Лабораторный практикум

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

Лабораторный практикум
по дисциплине « Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
для студентов направления подготовки
15.03.01 «Машиностроение» специализации
«Оборудование и технология повышения износостойкости
и восстановления деталей машин и аппаратов»

Корректура кафедры эксплуатации горного оборудования

Подписано в печать

Бумага писчая. Формат бумаги 60 × 84 1/16. Печать на ризографе.

Печ.л. 3,4. Уч.– изд.л. Тираж 50 экз. Заказ №

Издательство УГГУ.

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30.

Уральский государственный горный университет

Лаборатория множительной техники

Минобрнауки России
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.В. ДВ.05. 01.ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Направление подготовки
15.03.01 «Машиностроение»

Направленность
Производство и реновация машин и оборудования

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2019

квалификация выпускника: **бакалавр**

Автор: Волегов С. А. к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Эксплуатации горного оборудования	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Симисинов Д.И.	Барановский В.П.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 8 от 17.04.2019	Протокол № 7 от 19.04.2019
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2019

Комплект оценочных средств дисциплины согласован с выпускающей кафедрой эксплуатации горного оборудования

Заведующий кафедрой _____ Симисинов Д.И.

подпись

содержание

ВВЕДЕНИЕ 3
ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ 4
Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам 5
Подготовка и написание контрольной работы 6
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ 7
Подготовка к зачёту 7

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов - это разнообразные виды деятельности студентов, осуществляемые под руководством, но без непосредственного участия преподавателя в аудиторное и/или внеаудиторное время.

Это особая форма обучения по заданиям преподавателя, выполнение которых требует активной мыслительной, поисково-исследовательской и аналитической деятельности.

Методологическую основу самостоятельной работы студентов составляет деятельностный подход, когда цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, то есть на реальные ситуации, где студентам надо проявить знание конкретной дисциплины, использовать внутрипредметные и межпредметные связи.

Цель самостоятельной работы - закрепление знаний, полученных на аудиторных занятиях, формирование способности принимать на себя ответственность, решать проблему, находить конструктивные выходы из сложных ситуаций, развивать творческие способности, приобретение навыка организовывать своё время

Кроме того самостоятельная работа направлена на обучение студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свой профессиональный уровень.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирование практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитие исследовательских умений;
- получение навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во

внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

В соответствии с реализацией рабочей программы дисциплины в рамках самостоятельной работы студенту необходимо выполнить следующие виды работ:

для подготовки ко всем видам текущего контроля:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение курса;
- подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам;
- подготовка к контрольной работе, написание контрольной работы;
- для подготовки ко всем видам промежуточной аттестации:
- подготовка к зачёту;

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов как в домашних условиях, так и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита контрольных и курсовых работ (проектов), защита зачётных работ в виде доклада с презентацией и др.

Текущий контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

Промежуточный контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного для сдачи экзамена / зачёта.

В методических указаниях по каждому виду контроля представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ КО ВСЕМ ВИДАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Повторение материала лекций и самостоятельное изучение курса

Лекционный материал по дисциплине излагается в виде устных лекций преподавателя во время аудиторных занятий. Самостоятельная работа студента во время лекционных аудиторных занятий заключается в ведении записей (конспекта лекций).

Конспект лекций, выполняемый во время аудиторных занятий, дополняется студентом при самостоятельном внеаудиторном изучении некоторых тем курса. Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка основной и дополнительной литературы к дисциплине.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины приведён в рабочей программе дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на повторение материала лекций и самостоятельное изучение тем курса: для овладения знаниями:

- конспектирование текста;
- чтение основной и дополнительной литературы;
- составление плана текста;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей. для закрепления и систематизации знаний:
- работа с конспектом лекций;
- повторная работа над учебным материалом;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- изучение нормативных материалов;
- составление плана и тезисов ответа на вопросы для самопроверки;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- составление библиографических списков по изучаемым темам. для формирования навыков и умений:
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Вопросы для самопроверки приведены учебной литературе по дисциплине или могут быть предложены преподавателем на лекционных аудиторных занятиях после изучения каждой темы.

Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам

Практические занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций, а также умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач.

На практических занятиях происходит закрепление теоретических знаний, полученных в ходе лекций, осваиваются методики и алгоритмы решения типовых задач по образцу и вариантных задач, разбираются примеры применения теоретических знаний для практического использования, выполняются доклады с презентацией по определенным учебно-практическим, учебно-исследовательским или научным темам с последующим их обсуждением.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к практическим занятиям: для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей. для закрепления и систематизации знаний:
- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки;
- подготовка публичных выступлений;

- составление библиографических списков по изучаемым темам. для формирования навыков и умений:
- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;рефлексивный анализ профессиональных умений.

Тематический план изучения дисциплины и содержание учебной дисциплины приведены в рабочей программе дисциплины.

Лабораторные занятия по дисциплине выступают средством формирования у студентов навыков работы с использованием лабораторного оборудования, планирования и выполнения экспериментов, оформления отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к лабораторным занятиям: для овладения знаниями:

- изучение методик работы с использованием различных видов и типов лабораторного оборудования;
- изучение правил безопасной эксплуатации лабораторного оборудования;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами. для закрепления и систематизации знаний:
- составление плана проведения эксперимента;
- составление отчётной документации по результатам экспериментирования;
- аналитическая обработка результатов экспериментов. для формирования навыков и умений:
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- - оформление отчётной документации по выполнению лабораторных работ.

Подготовка и написание контрольной работы

Контрольная работа - индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания, обеспечивает возможность одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся. Контрольная работа является средством проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к контрольной работе: для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами. для закрепления и систематизации знаний:
- работа с конспектом лекций;
- ответы на вопросы для самопроверки. для формирования навыков и умений:
- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- оформление отчётной документации по выполнению контрольной работы.

Контрольная работа может быть выполнена в виде доклада с презентацией.

Доклад с презентацией - это публичное выступление по представлению полученных результатов знаний по определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной теме.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных по-

ложений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления;
- осуществить сбор материала к выступлению;
- организовать работу с источниками;
- -во время изучения источников следует записывать вопросы, возникающие по мере ознакомления, ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;
- сформулировать возможные вопросы по теме доклада, подготовить тезисы ответов на них;
- обработать материал и представить его в виде законченного доклада и презентации.

При выполнении контрольной работы в виде доклада с презентацией самостоятельная работа студента включает в себя: *для овладения знаниями*:

- чтение основное и дополнительной литературы по заданной теме доклада;
- составление плана доклада;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- просмотр обучающих видеозаписей по теме доклада

для закрепления и систематизации знаний:

- составление плана и тезисов презентации по теме доклада;
- составление презентации;
- составление библиографического списка по теме доклада;
- подготовка к публичному выступлению;
- составление возможных вопросов по теме доклада и ответов на них.

для формирования навыков и умений:

- публичное выступление;
- выполнение рисунков, схем, эскизов оборудования;
- рефлексивный анализ профессиональных умений.

Варианты контрольных работ и темы докладов приведены в комплекте оценочных средств дисциплины.

Рекомендуемые задания для самостоятельной внеаудиторной работы студента, направленные на подготовку к курсовой работе (проекту): для овладения знаниями:

- чтение основной и дополнительной литературы;
- работа со словарями, справочниками и нормативными документами;
- составление плана выполнения курсовой работы (проекта);
- составление списка использованных источников.

для закрепления и систематизации знаний:

- изучение основных методик расчёта технологических схем, выбора и расчёта оборудования;

для формирования навыков и умений:

- решение задач по образцу и вариативных задач;
- выполнение рисунков, схем, компоновочных чертежей;
- оформление текстовой и графической документации.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Подготовка к зачёту

Зачёт по дисциплине может быть проведён в виде теста или включать в себя защиту контрольной работы (доклад с презентацией).

Тест - это система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.

При самостоятельной подготовке к зачёту, проводимому в виде теста, студенту необходимо:

- проработать информационный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора дополнительной учебной литературы;
- выяснить условия проведения теста: количество вопросов в тесте,
- продолжительность выполнения теста, систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с тестом, нужно внимательно и до конца прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов, выбрать правильные (их может быть несколько), на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам.

В процессе выполнения теста рекомендуется применять несколько подходов в решении заданий. Такая стратегия позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант. Не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, а сразу переходить к другим тестовым заданиям, к трудному вопросу можно обратиться в конце. Необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Зачёт также может проходить в виде защиты контрольной работы (доклад с презентацией). Методические рекомендации по подготовке и выполнению доклада с презентацией приведены в п. «Подготовка и написание контрольной работы».

Билет на зачет включает в себя тест одновременной работы всем обучающимся за фиксированное время по однотипным заданиям, что позволяет преподавателю оценить всех обучающихся.

При самостоятельной подготовке к зачету студенту необходимо:

- получить перечень теоретических вопросов;
- проработать пройденный материал (конспект лекций, учебное пособие, учебник) по дисциплине, при необходимости изучить дополнительные источники;
- составить планы и тезисы ответов на вопросы;
- проработать все типы практико-ориентированных заданий;
- составить алгоритм решения основных типов задач;
- выяснить условия проведения зачета: количество теоретических вопросов в билете, продолжительность и форму проведения экзамена (устный или письменный), систему оценки результатов и т. д.;
- приступая к работе с э билетом, нужно внимательно прочитать теоретические вопросы и условия практико-ориентированного задания;

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
горный университет»

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов

Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки– «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Екатеринбург
2019

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО:
Методической комиссией
горно-механического факультета
«12» февраля 2015 г.
Председатель комиссии
проф. В.П. Барановский

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов

Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки – «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2019

УДК 621.757 (076.5)

Э.В. Горшков, Д. И. Симисинов Проектирование цехов (участков) машиностроительных производств. Учебное пособие по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки– «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения. Екатеринбург: Изд-во. УГГУ, 2017. 24 с.

Пособие предназначено для использования при выполнении курсовой работы и выполнении соответствующих разделов дипломных проектов студентами всех форм обучения.

В пособии приводится последовательность проектирования механосборочного участка на основе типизации запланированных к выпуску изделий. Приведены необходимые данные по нормам проектирования машиностроительных предприятий.

Справочно-методическое пособие рассмотрено на заседании кафедры эксплуатации горного оборудования 09.12.16 г. (протокол № 1) и рекомендовано для издания в УГГУ.

Рецензент – Н. М. Суслов, докт. техн. наук, профессор кафедры ГМК УГГУ.

© Горшков Э.В.,
Симисинов Д. И., 2019
© Уральский государственный
горный университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Каждое предприятие, выпускающее горные машины, имеет в своем составе более или менее развитые три части: основное производство (механические, термические, сварочные, гальванические, сборочные, окрасочные цеха или участки), заготовительное производство (литейные, кузнечные, метизные цехи или участки), вспомогательное производство (энергетический, ремонтный, инструментальный, транспортный цехи или участки, склады и др.).

Проектирование всего этого комплекса задача весьма сложная, для ее решения существуют специальные проектные институты (например, Уралгипротяжмаш).

Для проектирования небольших предприятий или участков, ориентированных на выпуск новой продукции, а также для предварительных расчетов при организации нового производства (к примеру, составлению проектов, бизнес-планов) требуется выполнить эту работу в короткие сроки с минимальными трудозатратами.

Наибольший объем в проектировании занимает определение трудоемкости изготовления запланированных к выпуску изделий. Решение задачи в значительной мере упрощается приведением подлежащих изготовлению изделий к типовым представителям.

Методика по определению трудоемкости изготовления изделий по типовому представителю, а так же все последующие этапы проектирования технологической части цехов и участков механосборочного производства приведены в данном справочно-методическом пособии.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков по определению трудоемкости изготовления сложных машиностроительных изделий на основе типизации, разработки технологического процесса сборки и основам проектирования технологической части цехов и участков механосборочного производства.

Выполнение работы основывается на самостоятельном творчестве студента, развивающем его инициативу в решении технологических задач, а так же экономического анализ принятых решений.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Работа заключается в проектировании технологической части участка механосборочного производства заданного изделия при заданном объеме выпуска.

Задание представляет собой конструкторскую документацию на выпускаемое изделие, включающее сборочный чертеж и деталировку.

Работу рекомендуется выполнять в следующей последовательности и включающей разделы:

1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали.

2. Расчет потребного оборудования.

3. Разработка сборочной схемы.

4. Разработка и планировка механосборочного участка.

Работа оформляется в виде чертежа планировки механосборочного участка и пояснительной записки.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали

Для сокращения объема расчетов трудоемкости изготовления, подлежащие изготовлению детали, входящие в изделие, условно приводятся к типовому представителю. В качестве типового представителя выбирается деталь, которая выпускается в наибольшем количестве, а по конструкции и технологическому процессу сходна с большинством деталей данной группы (в данной работе типовая деталь задается преподавателем).

Разрабатывается технологический процесс изготовления типовой детали, определяется тип производства и трудоемкость ее изготовления, выполнение данного этапа изложено в части 1 данного методического руководства [1]. В таблицах П.1, П.2 приложения приведены формулы для упрощенного расчета нормы штучного времени. Технологический процесс в работе оформляется в форме маршрута обработки.

Для определения трудоемкости остальных деталей, входящих в план производства, предлагается воспользоваться коэффициентом приведения K

$$K = K_{м} \cdot K_{сер.} \cdot K_{сл.}, \qquad (1)$$

где $K_{м}$, $K_{сер}$, $K_{сл}$ – соответственно коэффициенты, отражающие различия масс, серийности, сложности.

Коэффициент массы определяется по формуле:

$$K_{м} = (Q_i / Q_{тип})^{2/3}, \qquad (2)$$

где $Q_{тип}$ - масса типовой детали;

Q_i - масса i-ой детали, кг.

При весе детали менее 1 кг учитывать различие в массах деталей нецелесообразно.

Коэффициент серийности:

$$K\text{сер} = (N\text{тип} / Ni)^{0,2}, \quad (3)$$

где Ni - количество одинаковых i-х деталей в узле;

Nтип - количество одинаковых типовых деталей в узле.

Коэффициент сложности:

$$K\text{сл} = (Hi / H\text{тип})^{0,5}, \quad (4)$$

где Hi - количество обрабатываемых поверхностей у i-ой детали;

Hтип - количество обрабатываемых поверхностей у типовой детали.

Штучно-калькуляционное время для остальных деталей, мин.:

$$T\text{шт-к}_i = T\text{тип} \cdot K, \quad (5)$$

Ход и результаты расчетов оформляется по форме таблицы 1.

Таблица 1

Расчет трудоемкости изготовления деталей

Номер детали	Наименование детали	Кол-во в изделии	Kм	Kсер	Kсл	K	Tшт-к, мин.
						$\Sigma T\text{шт-к}_i$	

2. Расчет потребного оборудования

Определяется общее количество станков:

$$C_{общ} = \Sigma T_{шт\text{-}к} \cdot N_{г} / (F_{д} \cdot 60) \cdot \eta, \quad (6)$$

где $F_{д}$ - действительный годовой фонд времени работы оборудования, час; η – коэффициент использования рабочего времени оборудования, час. (принимается равным 0,85÷0,75);

Таблица 2

Примерное соотношение станков по группам для общего машиностроения

Станки	%
Токарные	40
Сверлильные	20
Фрезерные	15
Строгальные	5
Шлифовальные	10
Разные	10

Общее количество оборудования распределяется по группам в соответствии с установленным процентным соотношением видов станков от их количества, с учетом специфики изготовления изделия. В каждой группе целесообразно принимать различные по типу, точности и размерам станки (например, токарная группа 3 станка – принимаем: 2 токарно-винторезных станка, 1 токарно-револьверный).

Заполняется ведомость принятого основного оборудования в форме табл. 3.

Таблица 3

Ведомость принятого основного оборудования

Наименование	Марка	Кол.	Габариты	Площадь, $м^2$
			Итого:	

Кроме основного оборудования необходимо предусмотреть наличие вспомогательного:

- заточные станки (3÷5 % от общего количества станков);
- отрезные станки (например, дисковая пила для резки проката);
- слесарные верстаки основного и сборочного отделения, количество верстаков принимается 20÷25 % от $C_{общ}$;
- контрольные плиты, разметочные столы (5÷10 % от $C_{общ}$);
- инструментальные ящики (на каждый станок) и другое необходимое оборудование.

Ведомость вспомогательного оборудования заполняется в форме табл. 4.

Таблица 4

Ведомость принятого вспомогательного оборудования

Оборудование	Количество	Габариты, мм х мм	Площадь, м^2
Верстак слесарный		2200х1200	
Ящик для инструмента		800х500	
Плита контрольная		2000х1200	
Стол разметочный		2000х1200	
Итого:			

3. Разработка сборочной схемы

Составление технологических схем целесообразно при проектировании сборочных процессов для любого типа производства, так как они значительно упрощают разработку сборочных процессов. При разработке последовательности сборки нужно учитывать следующие правила:

1. В каждой сборочной единице должна быть найдена базирующая деталь, определяющая положение всех деталей составляющих данную сборочную единицу. С этой базовой детали (или узла) и должна начинаться сборка.

2. Каждая последующая, более сложная сборочная единица всегда должна содержать не менее одной предшествующей, более простой сборочной единицы.

3. Положение детали для общей сборки должно быть удобно для сборки всех узлов, без поворота и переустановки ее.

4. Смонтированные детали и узлы не должны мешать последующей сборке.

5. В первую очередь производится сборка и установка на базовую деталь сборочных единиц, выполняющих наиболее ответственные функции в работе.

6. Если узлы имеют взаимосвязанные элементы в размерных цепях, то сборка начинается с тех деталей, которые имеют общие взаимосвязанные размеры.

На рис. 1 в качестве примера показан фрагмент технологической схемы сборки.

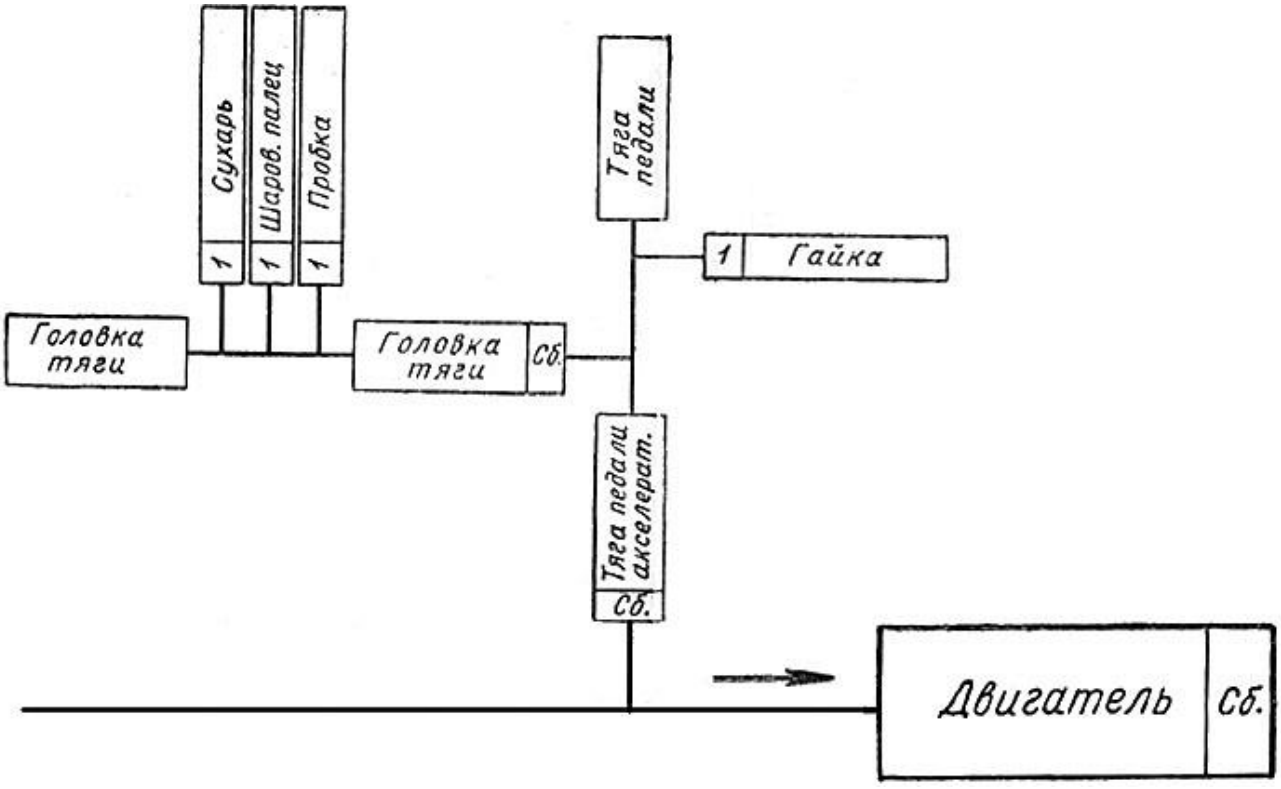


Рис. 1. Фрагмент схемы сборки

В левой части указывается базовый элемент, а в правой части – изделие в сборе. Эти две части соединены горизонтальной линией, выше и ниже которой обозначены все детали в порядке последовательности сборки и узлы, входящие непосредственно в изделие. Технологические схемы могут снабжаться надписями, если метод сборки не очевиден из схемы, например: «запрессовать», «сварить» и т. д.

4. Расчет площадей механосборочного участка

Площадь станочного отделения цеха, м^2:

$$S_{об} = (S_о + S_в)\cdot k_п, \qquad (8)$$

где $S_о$ - площадь основного оборудования (по табл. 3);

$S_в$ - площадь вспомогательного оборудования (по табл. 4);

$k_п = 3{,}5 \div 4$ коэффициент, учитывающий проходы и проезды;

Площадь механосборочного участка с учетом вспомогательных помещений, м^2:

$$S_{мсу} = S_{об} + S_{су} + S_{упр} + S_{скл} + S_{заг} + S_{сги}, \qquad (7)$$

где $S_{су}$ - площадь санузла (с учетом душевых и медпункта) – 10 % от общей площади;

$S_{упр}$ - площадь для управляющего персонала (производственные мастера), принимается 10÷20 м^2;

$S_{со}$ - площадь сборочного отделения принимается 20÷30 % от общей площади;

$S_{скл}$ - площадь складских помещений 10÷15 % от общей площади;

$S_{заг}$ - площадь заготовительных помещений – 5÷6 % от площади станочного отделения цеха.

5. Рекомендации по планировке механосборочного участка

После определения общей площади участка задаются его габаритные размеры. Для зданий, имеющих прямоугольную форму, целесообразно выдерживать соотношение ширины и длины не более 1:3. Габариты участка нормируется по *сетке колонн* – 12х6, 15х6, 18х6 м и ширине пролета, установленному 12 м – для легкого и 15, 18 м – среднего машиностроения. Ширина проезда на участке принимается 2÷3 м, в зависимости от типа транспорта, ширина проходов 1 м.

На плане указывают основные строительные элементы здания, относящиеся к проектируемому участку: наружные и внутренние стены, перегородки, ворота, двери, окна и антресоли. Показывают технологическое оборудование, производственный инвентарь (верстаки, стеллажи, инструментальные шкафы), подъемно-транспортное оборудование (за исключением безрельсовых самоходных и несамоходных транспортных средств: электрокар, погрузчиков и т. п.), проезды и проходы, необходимые для обеспечения рабочих мест материалами и запасными частями, а также площадки накопления изделий или материалов.

Технологическое оборудование изображают в принятом масштабе условным упрощенным контуром с учетом крайнего положения движущихся частей, открывающихся кожухов и устанавливаемых на оборудовании изделий, если последние выходят в плане за габаритные размеры оборудования. Внутри контура оборудования и производственного инвентаря или вне контура на выносной полке указывают его номер по спецификации к чертежу. Нумерацию обычно дают последовательно, в порядке размещения оборудования и инвентаря на чертеже, слева направо и затем сверху вниз.

Расположение станков и другого технологического оборудования, устанавливаемого на фундаменты, координируют относительно колонн

и стен здания. Указание на чертеже расстояний от оборудования до колонн и стен называют *привязкой оборудования*.

Условными обозначениями на чертеже показывают места расположения рабочих и места подсоединения к энергетическим сетям, водопроводу, вентиляции и канализации. Основные условные обозначения приведены на рис. 2 приложения.

Планы расстановки технологического оборудования выполняют, как правило, на стадии разработки проекта в масштабе 1:200, на стадиях разработки рабочей документации или рабочего проекта – в масштабе 1:100. В учебных проектах допускается применение масштабов 1:50 и 1:25.

К плану расстановки технологического оборудования прилагают спецификацию, содержащую в табличной форме следующие данные: номера по плану; наименование оборудования и инвентаря; краткую техническую характеристику; модель или тип; место изготовления; количество; примечания, в которых указывают мощность оборудования и потребителей воды, воздуха, пара, газа и других энергоресурсов. Допускается размещать спецификацию на свободном поле чертежа.

Расположение технологического оборудования, ширина и расположение проходов и проездов должны обеспечивать удобство и безопасность работы, подачи изделий, инструмента, уборки отходов и помещения, доступа к оборудованию для его обслуживания, ремонта, монтажа и демонтажа.

Расстояния между оборудованием и частями зданий (стенами, колоннами), размеры проходов и проездов должны быть не менее указанных в нормах технологического проектирования (табл. П.3), пример планировки – рис. 3, 4 приложения.

Одновременно с расстановкой производственного оборудования на планировке располагают подъемно-транспортные средства для обеспечения ремонта оборудования, а также перемещения поддонов с заготовками или готовыми изделиями (конвейеры, монорельсы, склизы, рольганги, мостовые краны и др., табл. 5).

Основным принципом расположения оборудования является обеспечения кратчайшего пути движения заготовок (деталей) в процессе их обработки.

Для этого необходимо при расстановке оборудования стремиться к соблюдению следующих наиболее важных условий:

1. Располагать оборудование по порядку выполнения операций технологического процесса.

2. Обеспечить полную комплектность оборудования на линии обработки, т. е. обеспечить ее всеми станками, нужными для обработки детали.

3. Расстояние между станками должно быть минимальным, при этом уменьшаются затраты труда на транспортировку заготовок от станка к станку, создаются лучшие условия для многостаночной работы и обеспечивается лучшее использование производственной площади.

4. Станки на линии должны быть расставлены так, чтобы было обеспечено (по возможности) одно направление всех обрабатываемых заготовок. Обычно линии станков для обработки заготовок располагаются параллельно друг другу. Проезды устраивают перпендикулярно этим линиям.

Кроме этого при разработке планировки необходимо учесть следующее:

- необходимо обеспечить монтаж и демонтаж любого станка без перестановки остального оборудования;

- следует учесть возможность многостаночного обслуживания;

- оборудование, работающее с длинномерными заготовками (токарно-револьверные станки и др.), устанавливается под углом 15 - 20 °.

Проектирование производственных участков необходимо проводить в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП), правилами безопасности жизнедеятельности, пожарной безопасности и санитарии. Правила установки оборудования с соблюдением техники безопасности даны в специальной литературе [2-7]. Там же приведены контуры и габаритные размеры станков.

Таблица 5

Подъемно-транспортное оборудование

Наименование	Грузоподъемность	Длина пролета, м
Кран мостовой с электротельфером	1, 2, 3, 5 т	5, 6, 7, … 17
Монорельс с электротельфером или электроталью	0,15; 0,25; 0,5; 1; 2; 3 т	–
Кран-укосина с электроталью (угол поворота до 270°)	От 0,25 т	Длина стрелы 1,2 - 4
Кран-балка электрифицированная	До 3 т	–
Рольганг	До 1000 кг/м	Ширина до 0,6

6. Определение технико-экономических показателей цеха

Разработав проект цеха механической обработки по полученному ранее заданию, необходимо оценить эффективность разработанного проекта в сравнении со средними технико-экономическими показателями по отраслям (табл. 6), в зависимости от изготовляемой продукции.

Таблица 6

Технико-экономические показатели производства по машиностроительным отраслям

Номер показат.	Показатели	Станкостроение	Тракторостроение	Тяжелое машиностроение
1	Выпуск на 1 производственного рабочего, т	10,9	60,0	30,0
2	Выпуск на 1 шт. производственного оборудования, т	17,5	68,0	83,3
3	Выпуск на 1 м² производственной площади, т	1,87	5,4	2,07
4	Трудоемкость 1 т обрабатываемых деталей, станко-часов	162,0	35,2	39,0
5	Средний коэффициент загрузки оборудования	0,83	0,64	0,86
6	Производственная площадь на единицу производственного оборудования, м²	21,4	12,5	40,0
7	Общая площадь на единицу производственного оборудования, м²	28,1	19,0	58,0
8	Коэффициент использования площади	0,76	0,65	0,69

Основной показатель рациональности расположения оборудования - коэффициент использования площади

$$k_{и.пл.}=S_{мсу}/S_{факт}, \quad (8)$$

где $S_{мсу}$ – расчетная сумма площадей занятых соответственно оборудованием для изготовления и обработки деталей и вспомогательными службами в соответствии с принятыми нормами (7);

$S_{факт}$ – фактическая площадь цеха, участка.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Приближенные формулы для определения основного технологического времени $T_o \cdot 10^{-3}$, мин.

Черновая обточка за один проход	0,17*dl*
Чистовая обточка по 11-му квалитету	0,1*dl*
Чистовая обточка по 9-му квалитету	0,17*dl*
Черновая подрезка торца R_a 6,3	0,037($D^2 - d^2$)
Чистовая подрезка торца R_a 1,6	0,052($D^2 - d^2$)
Отрезание	0,19D^2
Черновое и чистовое обтачивание фасонным резцом	0,63($D^2 - d^2$)
Шлифование грубое по 11-му квалитету	0,07*dl*
Шлифование чистое по 9-му квалитету	0,1*dl*
Шлифование чистовое по 6-му квалитету	0,15*dl*
Растачивание отверстий на токарном станке	0,18*dl*
Сверление отверстий	0,52*dl*
Рассверливание *d* = 20…60	0,31*dl*
Зенкерование	0,21*dl*
Развертывание черновое	0,43*dl*
Развертывание чистое	0,86*dl*
Внутреннее шлифование отверстий 9-го квалитета	1,5*dl*
Внутреннее шлифование отверстий 7-го квалитета	1,8*dl*
Черновое растачивание отверстий за один проход *Ra* 12,5	0,2*dl*
Черновое растачивание под развертку	0,3*dl*
Развертывание плавающей разверткой по 9-му квалитету	0,27*dl*
Развертывание плавающей разверткой по 7-му квалитету	0,52*dl*
(*d* – диаметр; *l* – длина обрабатываемой поверхности; *D* – диаметр обрабатываемого торца; (*D* – *d*) – разность наибольшего и наименьшего диаметров обрабатываемого торца)	
Протягивание отверстий и шпоночных канавок (*l* – длина протяжки, мм)	0,4*l*
Строгание черновое на продольно-строгальных станках	0,065*Bl*
Строгание чистовое под шлифование или шабрение	0,034*Bl*
Фрезерование черновое торцевой фрезой - за проход - чистовое	6*l* 4*l*
Фрезерование черновое цилиндрической фрезой	7*l*
Шлифование плоскостей торцом круга	2,5*l*
(*B* – ширина обрабатываемой поверхности, мм; *l* – длина обрабатываемой поверхности, мм)	
Фрезерование зубьев червячной фрезой (*D* = 30 … 300 мм)	2,2*Db*
Обработка зубьев червячных колес (*D* = 100 … 400 мм) (*D* – диаметр зубчатого колеса, мм; *b* – длина зуба, мм)	60,3*D*

Окончание табл. П.1

Фрезерование шлицевых валов методом обкатки	9*lz*
Шлицешлифование (*l* – длина шлицевого валика, мм; *z* – число шлицев)	4,6*lz*
Нарезание резьбы на валу (*d* = 32…120)	19*dl*
Нарезание метчиком резьбы в отверстиях (*d* = 10 … 24) (*d* – диаметр резьбы, мм; *l* – длина резьбы, мм)	0,4*dl*

Таблица П.2

Значение коэффициента φ_k

Виды станков	Производство	
	единичное и мелкосерийное	крупносерийное
Токарно-револьверные	1,98	1,27
Токарно-многорезцовые	–	1,35
Вертикально-сверлильные	1,72	1,50
Радиально-сверлильные	1,75	1,30
Расточные	3,25	1,41
Круглошлифовальные	2,10	–
Строгальные	1,73	1,55
Фрезерные	1,84	–
Зуборезные	1,66	1,51
Токарные	2,14	1,27
Примечание: штучно-калькуляционное время $T_{ик} = \varphi_k T_o$.		

Таблица П3

Нормы расстояний между станками и элементами зданий

Расстояния	Величина расстояния, мм при размерах станков, м		
	мелкие (до 1,8х0,8)	средние (до 2,4х1,2)	крупные (до 4х2)
При расположении фронтальными сторонами к проезду			
Между боковыми сторонами	700	900	1200
Между тыльными сторонами	700	800	1000
При поперечном расположении к проезду			
Расположение станков в «затылок»	1300	1500	1800
Расположение станков в фронтом к друг другу	2000	2500	2800
То же при многостаночном обслуживании	1300	1500	-
От стен или колонн здания до тыльной или боковой стороны станка	700	800	900
То же до фронта станка	1300	1500	1800

Группы элементов	Условное обозначение	Наименование элементов
Строительные элементы		Граница участка (отделения)
		Проезд
		Железобетонная колонна с фундаментом
		Распашные ворота
		Металлическая колонна с фундаментом
		Раздвижные односторонние ворота
		Капитальная стена
		Перегородка из прозрачных материалов
		Барьер
		Перегородка щитовая сборная
		Люк
		Место складирования деталей, агрегатов
Технологическое оборудование		Оборудование с номером по плану
		Место производственного рабочего
	5 5	Место рабочего при многостаночном обслуживании
	В	Верстак
	РП	Разметочная плита
	КП	Контрольная плита
	КС	Контрольный стол
Подводы жидкостей, газов, электропотока		Подвод холодной воды
		Подвод горячей воды
		Подвод холодной воды с отводом в канализацию
		Подвод горячей воды с отводом в канализацию

Группы элементов	Условное обозначение	Наименование элементов
Подводы жидкостей, газов, электропотока		Слив промышленнных стоков в канализацию
	М	Подвод масла
		Подвод пара
		Подвод сжатого воздуха
		Подвод конденсата
		Подвод природного газа
		Подвод ацетилена
		Подвод кислорода
		Местный вентиляционный отсос
	кВт	Потребитель электроэнергии
	...В...кВт 3	Розетка штепсельная трехфазная
	...В...кВт 1	Розетка штепсельная однофазная
		Осветительная розетка до 36 В
	Щ	Щит управления
Подъемно-транспортное оборудование	...Т	Мостовой электрический кран
	...Т	Опорная кран-балка
	...Т	Однобалочный подвесной кран
	...Т	Козловой кран
	...Т	Монорельс под электрическую таль
	...Т	Консольно-поворотный кран
		Пластинчатый конвейер
		Рольганг
		Рельсовый путь

Рис. 2. Условные обозначения элементов строительных конструкций и оборудования

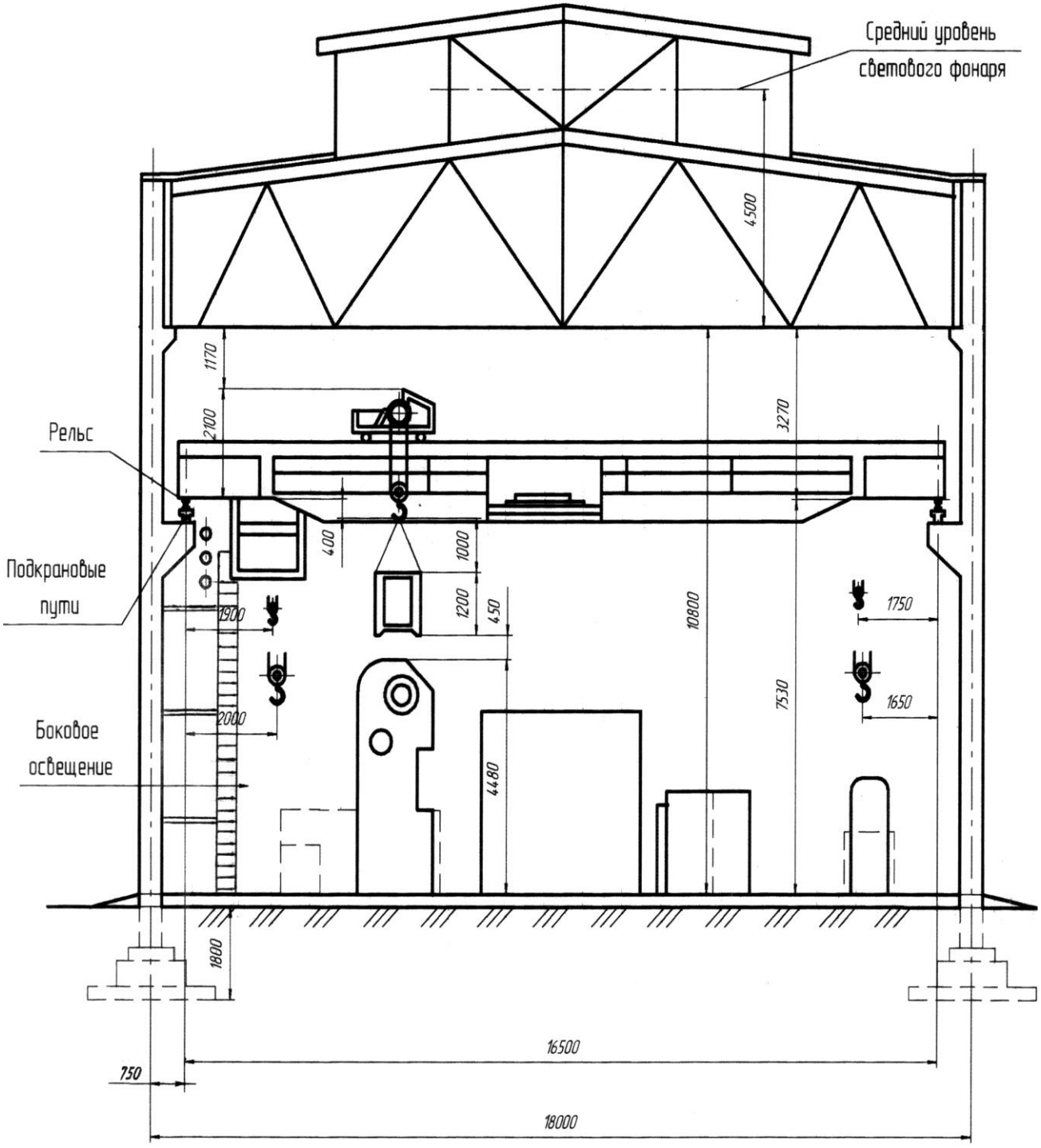


Рис. 3. Сечение производственного здания

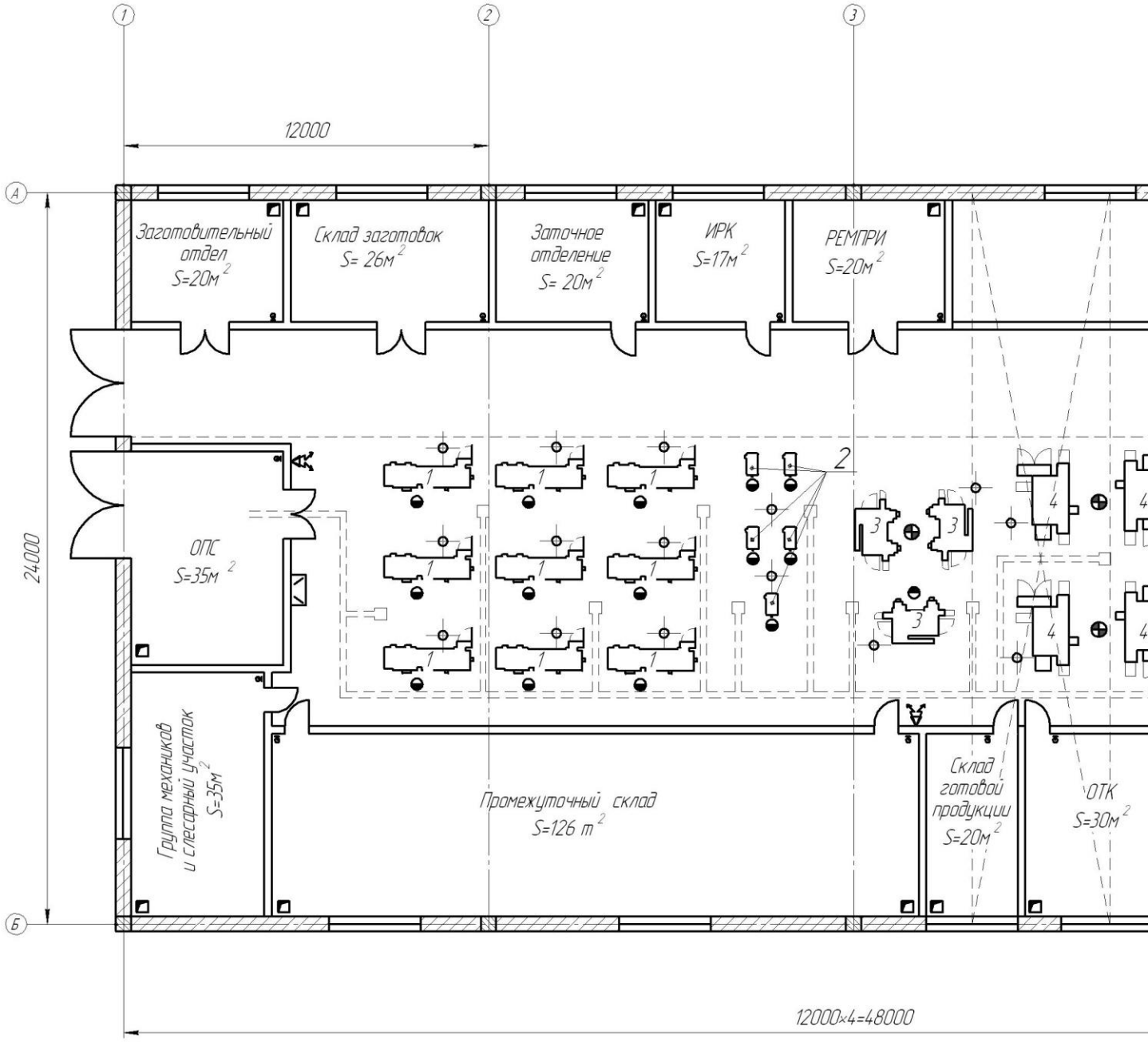
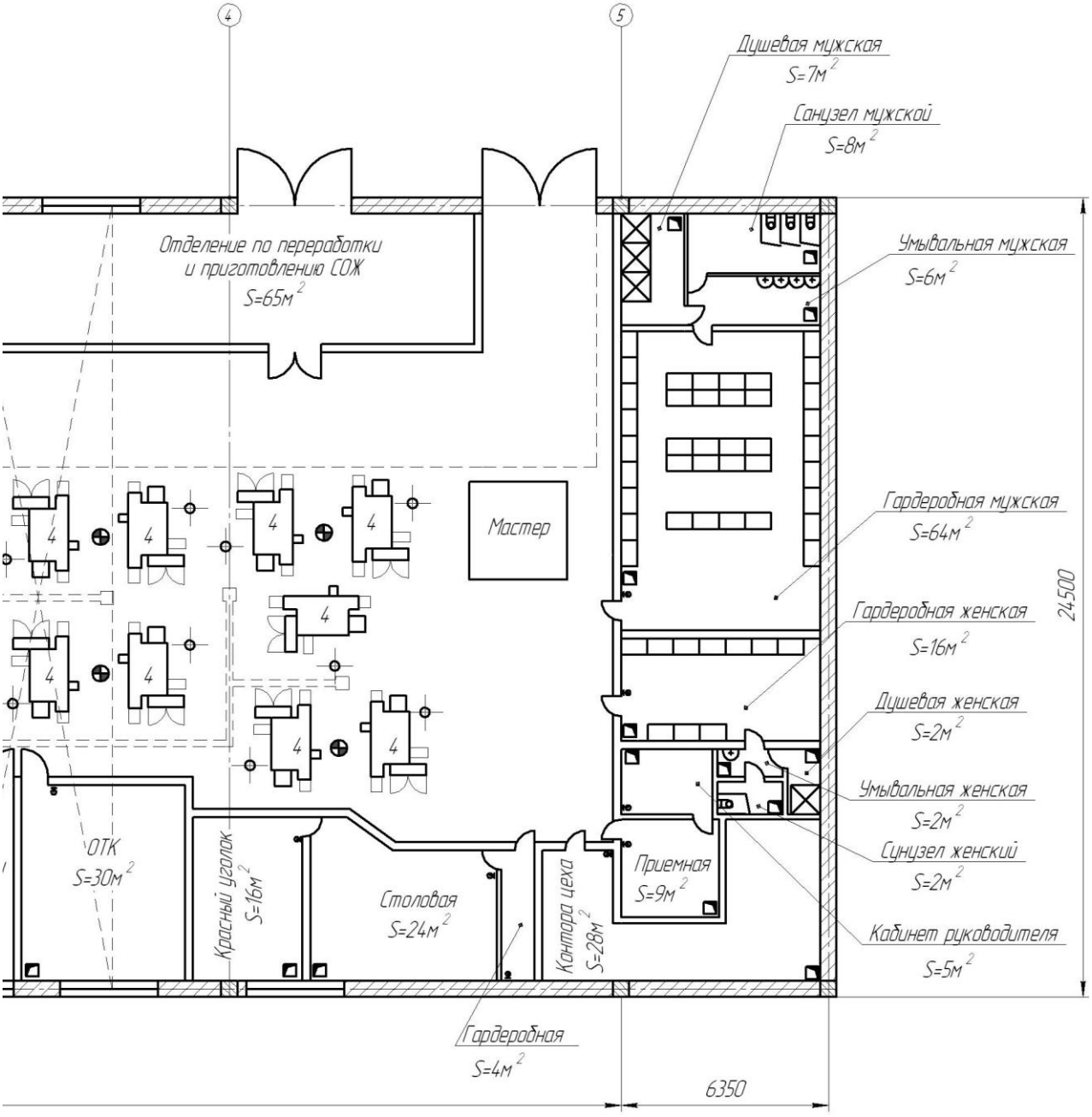


Рис. 4. Пример планировки механо-



-сборочного цеха (фрагмент)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Графические изображения станков М 1:100

Станки подразделяют:

- по степени универсальности – на универсальные и специализированые;
- по массе - на легкие (до 1т), нормальные (до 10т), крупные (до 30т); тяжелые (до 100т) и универсальные (более 100 т);
- по точности: нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В), особовысокой (А), особоточные и прецизионные (С).

Условное обозначение (индекс) станка состоит из трех или четырех цифр и букв: первая цифра - группа станка (например 1 - токарный) вторая цифра - тип или разновидность, третья или четвертая цифра – типоразмер, следующая цифра (или две) - параметры обработки.

Буква, стоящая после первой цифры указывает на исполнение станка по точности.

Буквы, стоящие в конце типовой части - модификация базовой модели.

Пример: 1Г325: 1- токарной группы; Г - модификация; 3 - револьверный; 25 - диаметр прутка (мм).

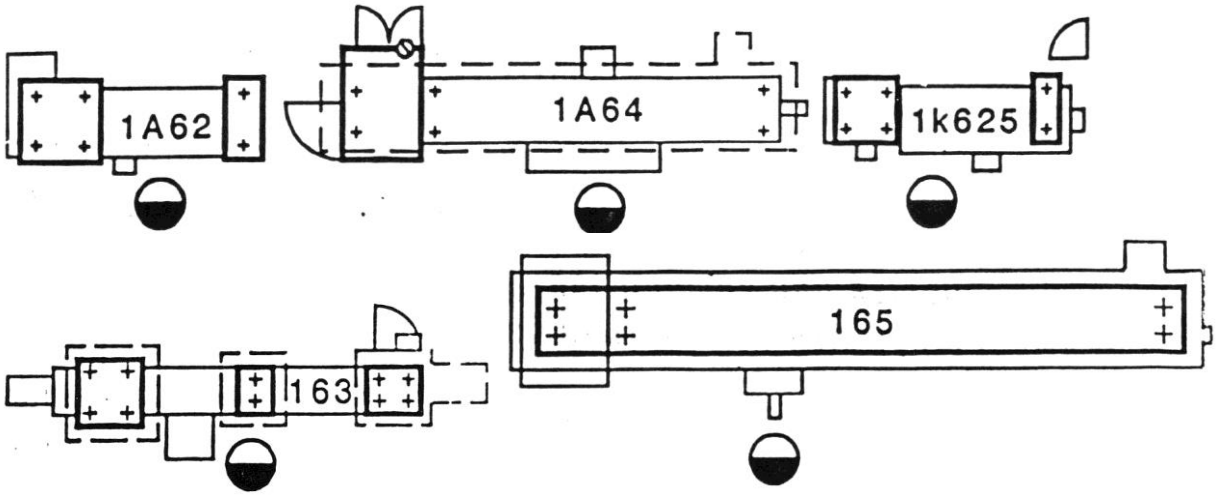
При наличии дополнительных конструктивных особенностей (программное управление, цифровая индексация, магазин с автоматической сменой инструмента) в индексе добавляют следующие буквы:

Ц - цикловое программное управление, Ф1 - цифровая индексация, Ф2 - числовое позиционное программное управление, ФЗ - числовое контурное программное управление, Ф4 и Ф5 - многопозиционные станки, Р - поворотная револьверная головка для автоматической смены инструмента, М - магазин.

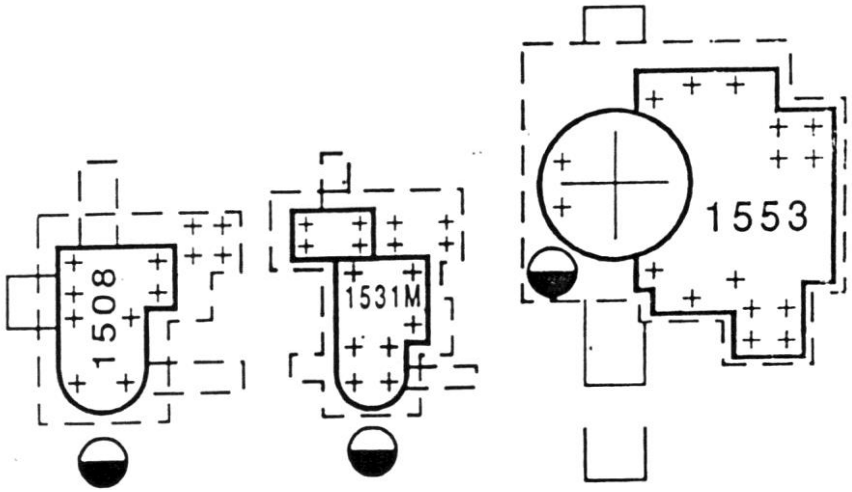
Ниже в контурах станков указаны обозначения моделей станков. М 1:100

ТОКАРНЫЕ

Токарно-винторезные

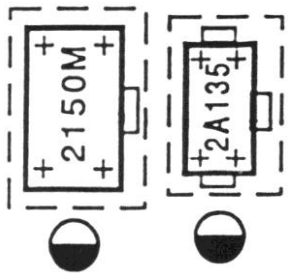


Токарно-карусельные

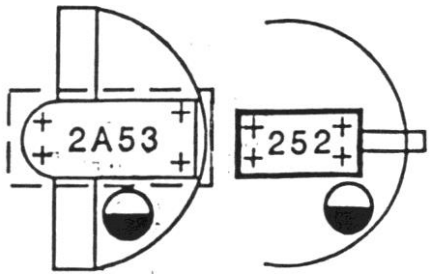


СВЕРЛИЛЬНЫЕ

Вертикально

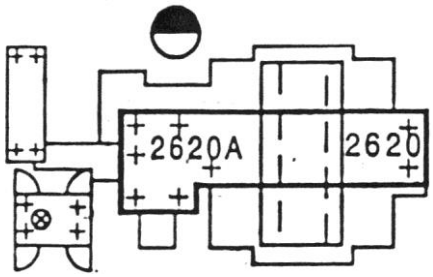


Радиально

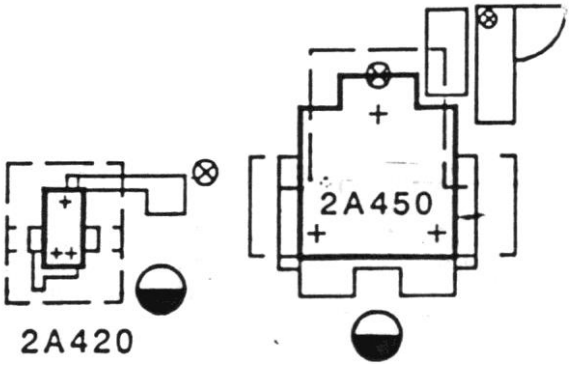


РАСТОЧНЫЕ

Горизонтально

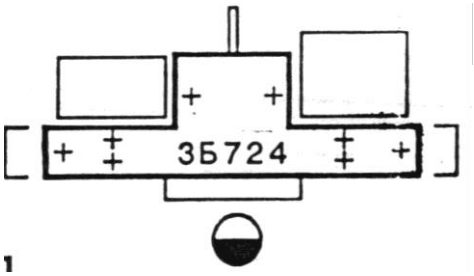


Координатно-расточные

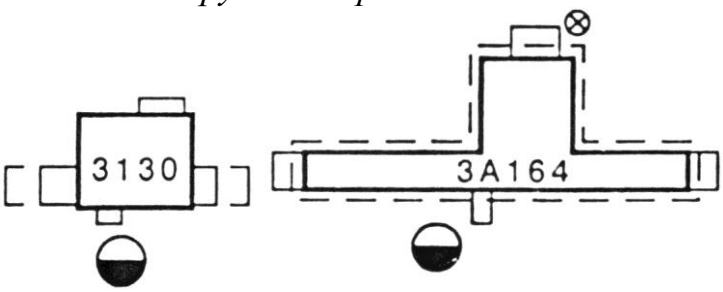


ШЛИФОВАЛЬНЫЕ

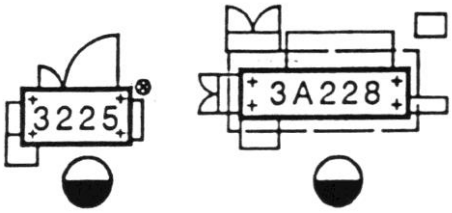
Плоскошлифовальный



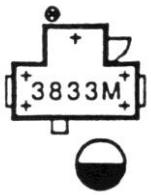
Круглошлифовальные



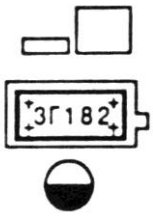
Внутришлифовальные



Хонинговальный

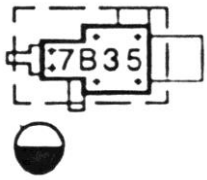


Бесцентрошлифовальный

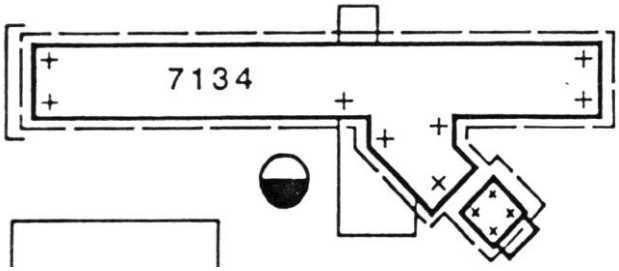


СТРОГАЛЬНЫЕ

Поперечно

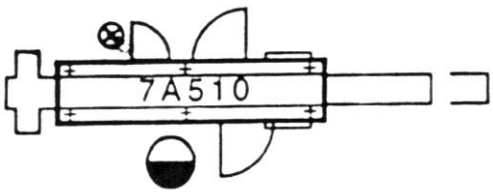


Продольно

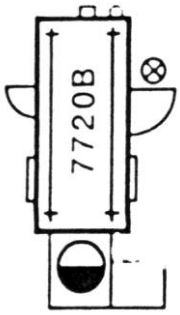


ПРОТЯЖНЫЕ

Горизонтально

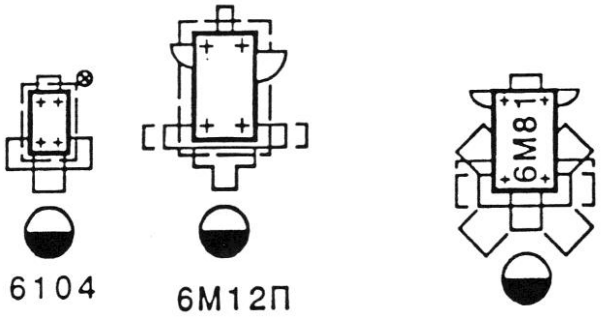


Вертикально



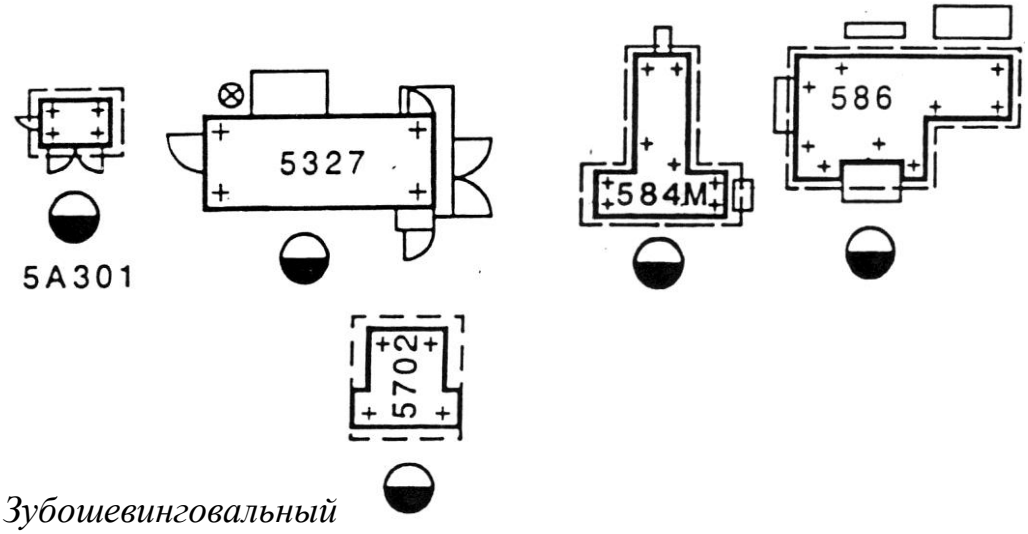
ФРЕЗЕРНЫЕ

Вертикально *Консольно*



ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ

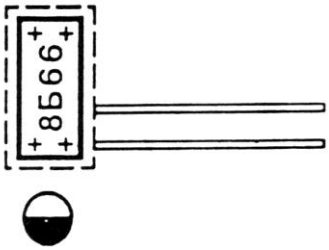
Зубофрезерные *Зубошлифовальные*



Зубошевинговальный

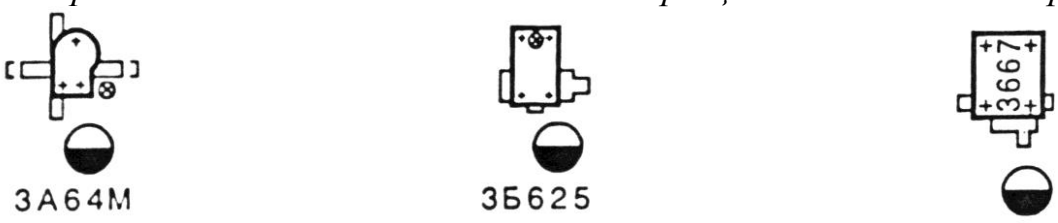
РАЗНЫЕ

Дисковая пила



Станки для заточки инструмента

универсально-заточные *для заточки резцов* *для заточки фрез*



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* Технология производства горных машин. Часть 1. Справочно-методическое пособие по выполнению технологической части курсового проекта и ВКРИ для студентов специальности 150402 – «Горные машины и оборудование» направления 150400 – «Технологические машины и оборудование» очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 62 с.

2. *Егоров М. Е.* Основы проектирования промышленных предприятий. М.: Машгиз., 1968.

3. *Дмитриев В. Т., Боярских Г. А.* Проектирование технологических процессов восстановления деталей и ремонтных баз горных предприятий: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. 140 с.

4. *Мельников Г. Н., Вороненко В. П.* Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / Под ред. А. М. Дальского. -М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

5. *СНиП* 10-01-94. Основные положения.

6. *СНиП* 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.

7. *СНиП* 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
ЦЕЛЬ РАБОТЫ 4
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ 4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ 5
1. Разработка технологического процесса изготовления типовой детали 5
2. Расчет потребного оборудования 7
3. Разработка сборочной схемы 8
4. Расчет площадей механосборочного участка 10
5. Рекомендации по планировке механосборочного участка 10
6. Определение технико-экономических показателей цеха 14
ПРИЛОЖЕНИЯ 16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 21
ОГЛАВЛЕНИЕ 27

Таблица перевода ОСТ – СЭВ 144-75

Классы точности		Квалитет	Обозначение шероховатости	
валы	отверстия		новое	старое
0,7		*JT*3	0	∞
0,8		*JT*4	320	∇ 1
1	0,9	*JT*5	*Rz*160	∇ 2
2	1	*JT*6	*Rz*80	∇ 3
2 а	2	*JT*7	*Rz*40	∇ 4
-	2 а	*JT*8	*Rz*20	∇ 5
3		*JT*9	2,5	∇ 6
3 а		*JT*10	1,25	∇ 7
4		*JT*11	0,63	∇ 8
5		*JT*12 - *JT*13	0,32	∇ 9
7 - 8		*JT*14 - *JT*15	0,16	∇ 10

Эдуард Викторович Горшков
Денис Иванович Симисинов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ (УЧАСТКОВ) МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебное пособие
по выполнению курсовой работы и специальной части ВКРБ для студентов специализации подготовки – «Оборудование и технологии повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов» (МШС) специальности 15.03.01 – «Машиностроение» очного и заочного обучения

Корректура кафедры эксплуатации горного оборудования

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.1,75. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Лаборатория множительной техники

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Методические указания
по подготовке выпускной квалификационной работы бакалавров, обучающихся
по направлению 15.03.01 «Машиностроение»
очного и заочного обучения

Екатеринбург 2019

УДК 621.7/9 (07)

Требования к выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра / Хазин М. Л., Волегов С.А., Симисинов Д.И. Уральский государственный горный университет. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019 – 32 с.

Приведены методические указания к выпускной работе бакалавра по направлению обучения 15.03.01 «Машиностроение».
Предназначено для студентов, обучающихся по вышеуказанному направлению очной и заочной форм обучения

Подготовлено на кафедре эксплуатации горного оборудования.

Печатается по решению ученого совета Уральского государственного горного университета

Оглавление

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4
2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 4
2. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 5
3.1. Тематика и тема выпускной квалификационной работы 5
3.2. Руководство выпускной квалификационной работой 7
3.3. Составление рабочего плана 8
4. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 9
4. 1. Структура выпускной квалификационной работы 9
4.2. Титульный лист 10
4.3. Задание на выполнение выпускной квалификационной работы 11
4.4. Реферат 11
4.5. Оглавление 11
4.6. Обозначения и сокращения 12
4.7. Введение 12
4.8. Литературно-патентный обзор 13
4.9. Основная часть 14
4.10. Экономико-техническое обоснование 16
4.11. Охрана труда и окружающей среды 17
4.12. Заключение 17
4.13. Список используемых источников 18
4.14. Приложения 18
5. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 19
6. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 19
6.1. Пояснительная записка 19
6.2. Графический материал 20
6.3. Спецификация изделия 21
6.4. Правила оформления технологических документов 21
6.5. Оформление демонстрационного материала 22
7. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 22

7.1. Подготовка выпускной квалификационной работы к защите 22
7.2. Проверка на плагиат 23
7.3. Предварительная защита 23
7.4. Необходимые документы 24
7.4. Защита выпускной квалификационной работы 24
8. ДОКЛАД И ПРЕЗЕНТАЦИЯ 25
8.1. Доклад 25
8.2. Презентация 26
8.3. Оценка результата защиты ВКР 27
8.4. Типичные ошибки при подготовке и оформлении работы 27
Приложение 1. Пример оформления титульного листа на выполнение ВКРБ 29
Приложение 2. ЗАДАНИЕ на выпускную квалификационную работу (ВКР) бакалавра ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
Приложение 3. Пример оформления реферата 32
Приложение 4. ОБРАЗЕЦ ЗАЯВКИ РУКОВОДИТЕЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НА РАЗРАБОТКУ КОНКРЕТНОЙ ТЕМЫ ВКР 33
Приложение 5. Образец оформления первой страницы раздела основной части 34
Приложение 6. Пример оформления последующих листов пояснительной записки 35
Приложение 7. АКТ проверки материалов ВКРб на обнаружения заимствований в работе 36
Приложение 8. Схема обозначения листов в ВКР 37
Приложение 9. Индексация горных машин (изделий) .... **Ошибка! Закладка не определена.**
приложение 10. Вопросы для самоподготовки к защите квалификационных работ 39
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 41

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящее учебное пособие устанавливает общие правила подготовки, выполнения и защиты выпускной квалификационной работы бакалавра. Степень «бакалавр» - это академическая степень или квалификация, присуждаемая лицам, освоившим первую ступень образовательной программы высшего образования, свидетельствующая о наличии фундаментальной подготовки по соответствующему направлению и общекультурным, профессиональным и другим компетенциям, прописанным в Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (ФГОС ВО) и основной образовательной программе (ООП).

Выпускная квалификационная работа (ВКР) служит средством итоговой аттестации выпускников. ВКР бакалавра представляет собой решения конкретных проектно-конструкторских и технологических задач и может базироваться на реальных материалах предприятий и организаций.

За все сведения, изложенные в ВКР, использование фактического материала и другой вспомогательной информации, обоснованность (достоверность) выводов и защищаемых положений автор ВКР несет ответственность. Обнаружение заимствований числового и текстового материала без указания источника является основанием для снижения оценки за ВКР, вплоть до выставления оценки «неудовлетворительно».

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Цели подготовки и защиты ВКР бакалавра:

- определение готовности выпускника к выполнению профессиональных обязанностей;
- подготовка к прохождению следующих ООП ВО: программы подготовки специалиста либо программы подготовки магистра.

Решение задач в процессе выполнения ВКР должно соответствовать современному уровню развития науки и техники, а используемые методики должны отвечать последним разработкам в данной профессиональной области знаний. Особое значение приобретают те ВКР, в

которых содержатся результаты научно-исследовательских работ.

Основными задачами ВКР бакалавра являются:

- проверка уровня усвоения студентами учебного и практического материала по основным дисциплинам;
- теоретическое обоснование и раскрытие сущности профессиональных категорий, явлений и проблем по теме ВКР;
- развитие навыков разработки и представления технической документации.

В процессе работы над ВКР обучающийся должен проявить способности к использованию освоенных компетенций:

- к осмыслению, систематизации, закреплению и расширению полученных теоретических знаний и практических навыков;
- к применению известных приемов и методов решения вопросов, возникающих в процессе выполнения ВКР.

Развитие умений:

- концентрироваться на определенном виде деятельности;
- работать с литературой, а именно: находить необходимые источники информации, перерабатывать информацию, вычленяя главное, анализировать и систематизировать результаты информационного поиска, понимать и использовать идеи и мысли, изложенные в информационных источниках;
- выявлять сущность поставленной перед ним проблемы;
- применять полученные в ходе обучения знания для решения поставленных проектно-конструкторских и технологических задач.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

3.1. Тематика и тема выпускной квалификационной работы

Основанием для выбора темы выпускной квалификационной работы может являться:

а) научный интерес студента;

б) связь избранной для исследования проблемы с будущей работой после окончания учебного заведения или с дальнейшим обучением в магистратуре;

в) связь с ранее выполненными курсовыми работами;

г) заявка от руководителя организации (предприятия, учреждения, где студент проходил практику или собирается трудоустраиваться) на разработку конкретной темы ВКР.

Тематика ВКР может быть предложена работодателями и государственными организациями. Избранное направление исследования или тема выпускной квалификационной работы должна соответствовать примерной тематике ВКР бакалавра, предложенной кафедрой, которая, как правило, отражает современные направления теоретических и практических исследований, соответствующих специализации кафедры.

Возможна подготовка и защита ВКР по теме, предложенной обучающимся, в случае обоснованности целесообразности её разработки для практического применения в соответствующей области профессиональной деятельности или на конкретном объекте профессиональной деятельности.

Если работа пишется по тематике, интересной предприятию, то заказ от предприятия готовится на бланке предприятия (организации, фирмы) с указанием ее точных реквизитов, подписями первого руководителя или его заместителей и печатью, удостоверяющей подписи (Прил. 4).

Тема работы после назначения научного руководителя от выпускающей кафедры может уточняться. Окончательный вариант темы утверждается на заседании кафедры.

Тематика ВКР может предусматривать не только индивидуальные работы, но и проекты, выполняемые группой студентов (комплексные, большие по объему задания), что позволяет усилить и индивидуализировать проработку каждой части проекта и в целом повысить технический уровень ВКР. Комплексная ВКР предполагает решение взаимосвязанных задач в рамках одного объекта исследования и может содержать общую теоретико-методическую и/или информационно-аналитическую часть. Для комплексных тем ВКР, выполняемых группой студентов, в техническом задании должен быть четко указан личный вклад студента в разработку. При этом допускается совпадение в содержании работ, но не более чем на 30 %.

Тема ВКР должна:

- соответствовать направлению подготовки бакалавров 15.03.01 «Машиностроение»;
- отвечать современным техническим требованиям;

- учитывать перспективы развития техники и технологии;
- быть актуальной и, по возможности, максимально приближенной к решению реальных задач.

Типовые темы ВКР(б):

1. Проектирование участка по восстановлению/изготовлению типовых деталей или изделий.
2. Повышение надежности деталей машин/изделий за счет упрочнения
3. Восстановления работоспособности оборудования.
4. Выявление технологических резервов изготовления группы деталей (корпусных) в условиях конкретного производства.
5. Технологическое оснащение производства и ремонта деталей машин.
6. Текущий ремонт узлов машин и оборудования.
7. Модернизация узлов машин и оборудования.
8. Проектирование передвижной ремонтной мастерской.
9. Разработка технологии повышения износостойкости деталей машин.
10. Конструирование оригинального оборудования (оснастки, приспособления).
11. Технологическая подготовка производства деталей машин/изделий

Объектами тем ВКР являются заданные детали, изделия. Студент имеет право выбрать одну из объявленных тем ВКР или предложить свою, согласовав её с руководителем. При ее рассмотрении кафедра имеет право аргументировано отклонить или, при согласии студента, переформулировать.

Изменение или уточнение темы ВКР возможно до издания приказа по университету. Приказ является основанием для допуска студента к выполнению ВКРБ.

3.2. Руководство выпускной квалификационной работой

К руководству ВКР привлекаются преподаватели и научные сотрудники кафедры. Обучающийся вправе самостоятельно выбрать руководителя ВКР из списка, предложенного выпускающей кафедрой. Список, формируемый заведующим кафедрой, вывешивается на информационном стенде кафедры не позднее 6 месяцев до начала

выполнения ВКР.

В обязанности руководителя ВКР бакалавра входит:

- проверка оформления задания с календарным графиком выполнения ВКР (Приложение 2).
- выдача рекомендаций по подбору научно-технической, справочной литературы и иных источников информации по теме ВКР;
- проведение систематических консультаций по содержанию и оформлению ВКР согласно составленному расписанию;
- оказание помощи в выборе методик для решения проектно-конструкторских и технологических задач;
- осуществление систематического контроля хода выполнения ВКР;
- проверка законченной ВКР: оценка степени и качества выполнения разделов ВКР, качества ее оформления;
- проверка готовности выпускника к защите;
- составление отзыва на ВКР бакалавра.

Текущие консультации с руководителем и консультантами проводятся по мере необходимости, но не реже одного раза в неделю. В установленный график консультаций по кафедре руководитель контролирует ход и полноту выполнения календарного плана, делая в нем письменную отметку о результатах контроля.

3.3. Составление рабочего плана

План подготовки ВКР включает содержание работы, сроки и ожидаемые результаты, форму их представления и отметку руководителя о выполнении. Рабочий план (оглавление) составляется студентом самостоятельно; он решает, сколько требуется разделов, сколько пунктов будет в составе разделов, как они будут называться. Проект рабочего плана согласовывается с руководителем.

План должен отражать основную идею работы. При составлении плана работы следует определить содержание отдельных глав и сформулировать их название; продумать содержание каждой главы и наметить в виде разделов и параграфов последовательность вопросов, которые будут в ней рассмотрены. Рабочий план не должен ограничивать творческое развитие идеи. Дальнейшие изменения в плане работы могут быть связаны с корректировкой вариантов направления

работы после детального ознакомления с изучаемой проблемой, в связи с отсутствием или недостаточностью исходного материала, выявлением новых данных, представляющих теоретический и практический интерес.

Окончательный вариант плана утверждается руководителем и представляет собой оглавление работы, согласованное со сроками выполнения отдельных ее этапов. Календарный план выполнения работы составляется студентом в течение первой недели согласно учебному плану. Выпускная работа должна быть закончена не позднее, чем за одну неделю до начала защиты.

4. ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

4. 1. Структура выпускной квалификационной работы

ВКР должна содержать:

- текстовый документ - пояснительную записку;
- технологическую документацию;
- графический материал - демонстрационные плакаты, чертежи и схемы.

Рекомендуемая структура пояснительной записки ВКР бакалавра:

- титульный лист (Прил. 1);
- задание на ВКР (Прил. 2);
- реферат (Прил. 3);
- оглавление;
- введение;
- обозначения и сокращения;
- литературно-патентный обзор;
- основная часть (конструкторская или технологическая);
- экономико-техническое обоснование;
- заключение;
- список используемых источников;
- приложения.

Каждый раздел основной части начинается с нового листа, оформленного согласно установленной форме (Прил. 5);

Примерный объем основных разделов пояснительной записки ВКР приведен ниже (табл. 1).

Таблица 1

Объем основных разделов пояснительной записки ВКР

№ п/п	Разделы	Ориентировочный объем в листах	
		графическая часть	пояснительная записка
1.	Введение	-	1 ... 2 стр.
3.	Литературно-патентный обзор	1 ... 2 листа (А1)	15 … 20 стр.
4.	Основная часть	2 ... 4 листа (А1)	25 … 40 стр.
5.	Экономико-техническое обоснование		9 … 12 стр.
6.	Охрана труда и окружающей среды		5 … 7 стр.
ИТОГО:		4 … 6 листов (А1)	60 … 80 страниц текста

Графический материал служит для наглядного представления основных результатов работы при ее публичной защите. Состав, и содержание графического материала определяются вместе с руководителем в зависимости от характера разрабатываемой темы ВКР.

4.2. Титульный лист

Титульный лист является первой страницей работы (на нем номер 1 не проставляется, но учитывается), оформляется согласно Прил. 1 и содержит название темы; фамилию, имя, отчество, специальность и учебную группу студента; фамилию, имя, отчество, ученую степень и ученое звание (должность) руководителя работы.

4.3. Задание на выполнение выпускной квалификационной работы

Задание на ВКР оформляется на бланке (Прил. 2), который заполняется печатным способом и содержит необходимые подписи.

4.4. Реферат

Реферат - краткая (не более 1000 знаков) характеристика ВКР с точки зрения содержания, назначения и формы.

Реферат должен содержать:

- сведения об объеме пояснительной записки, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, использованных источников, листов графического материала;
- перечень ключевых слов от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста пояснительной записки, которые в наибольшей мере характеризуют ее содержание и раскрывают сущность работы. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые;
- текст реферата, который должен отражать оформленные в виде структурных частей:
  - объект разработки;
  - цель и задачи работы;
  - методики проведения работы;
  - полученные результаты;
  - рекомендации или итоги внедрения результатов работы;
  - область применения;
  - прогнозные предположения о развитии объекта разработки.

Объем реферата не должен превышать одной страницы.

Пример составления реферата приведен в прил. 3.

4.5. Оглавление

Оглавление включает введение, заголовки всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение, спи-

сок использованных источников и наименования приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы.

Материалы, представляемые на технических носителях данных ЭВМ, должны быть перечислены в содержании с указанием вида носителя, обозначения и наименования документов, имен и форматов соответствующих файлов, а также места расположения носителя в пояснительной записке.

4.6. Обозначения и сокращения

Данный структурный элемент приводится, если в пояснительной записке необходимо использовать значительное количество (более пяти) обозначений и (или) сокращений.

Запись обозначений и сокращений приводят в порядке их появления в тексте с необходимой расшифровкой и пояснениями:

- сокращения в виде аббревиатур приводят после термина и отделяют от него точкой с запятой;
- сокращения в виде краткой формы термина приводят после термина в скобках и выделяют полужирным шрифтом;
- условные обозначения приводят после термина и выделяют полужирным шрифтом, при этом, после условных обозначений величин приводят обозначения единиц величин, которые отделяют запятой и выделяют полужирным шрифтом.

Допускается приводить без расшифровки общепринятые сокращения, установленные в национальных стандартах и правилами русской орфографии: ЭВМ, НИИ, АСУ, с. - страница, т. е. - то есть и др.

Сокращение русских слов и словосочетаний приводится по ГОСТ Р 7.0.12-2011.

Перечень допускаемых сокращений, используемых в текстовой конструкторской документации, приведен в ГОСТ 2.316.

4.7. Введение

Введение представляет краткое изложение основных задач и способов их решения, приводится общая характеристика ВКР.

Во введении:

- конкретизируется объект разработки, обозначенный тематикой ВКР, и область его применения;
- приводятся исходные данные для конструкторско-технологической проработки;
- раскрывается актуальность темы ВКР и характеризуется проблема, к которой относится тема;
- формулируется цель и конкретные задачи работы, намечаются пути и методы решения задач;
- излагаются в краткой форме полученные результаты - теоретическое и практическое значение темы ВКР.

Кроме того, во введении должны быть показаны логика и структура работы, назван объект, на примере которого выполнена работа.

4.8. Литературно-патентный обзор

В этом разделе отражается состояние развития техники (рассматриваемой в специальной части), дается ее краткий аналитический обзор.

В обзор необходимо включить известные конструкции механизмов и машин отечественного и зарубежного производства данного типа, анализ их достоинств и недостатков, включая сопоставление технико-экономических показателей, таких как производительность, весовые данные, металлоемкость, энерговооруженность, стоимость машины и себестоимость производства работ этой машиной.

Результат информационного поиска - материал, максимально возможно раскрывающий картину технического и технологического уровней достижений и разработок в области тематики выпускной работы либо смежных областях, а также позволяющий сделать вывод о наличии либо отсутствии подобных проблематике ВКР разработок.

На основе анализа делаются выводы об актуальности тематики ВКР, ставится цель работы, выявляется круг задач, решение которых имеет теоретическое и/или практическое значение, намечаются пути достижения этой цели.

В случае необходимости, результаты литературно-патентного обзора выносятся на плакаты.

4.9. Основная часть

Содержание основной части работы может содержать одно из направлений:

Технологическое направление:

Конструкторское направление:

В отличие от других разделов, полнота и степень детализации которых соответствует эскизно-техническому проекту, настоящий раздел должен выполняться значительно подробнее и соответствовать уровню технического проектирования.

Конструкторское направление:

- проектирование оснастки;
- проектирование сборочной единицы;
- модернизация узла.

Технологическое направление:

- разработка технологического процесса (изготовления, восстановления и ремонта);
- разработка технологии упрочнения деталей машин.

Разделы основной части включают в себя:

- разработку компоновочно-кинематической схемы проектируемого изделия (механизма, узла, устройства, станка). Разработка компоновочно-кинематической схемы устройств является важнейшим этапом проектирования, т. к. при этом формализуется модель задуманной конструкции, предопределяются общий вид устройства или механизма, компоновка, виды приводов, система управления, связь с внешними устройствами и т. п. На основе компоновочно-кинематической схемы разрабатывается концепция конструкции изделия, заканчивающаяся описанием конструкции и принципа действия изделия.
- Описание конструкции и принципа действия проектируемого изделия.
- Расчет силовых факторов, действующих на проектируемое изделие и возникающих во время его работы, необходим для определения технологических условий работы устройства. К данным факторам относят: движущие силы и моменты, вызванные работой двигателей приводов; силы резания, трения, тяжести, упругости деформируемых звеньев станка, силы взаимодействия в кинематических парах, силы

инерции и моменты инерционных сил и т. п. Данный расчет служит основой для проведения проектировочных и проверочных расчетов: диаметров валов, модулей и чисел зубьев зубчатых передач, шпоночных и шлицевых соединений, долговечности подшипников и т. д.

- Если основная часть предусматривает ремонт узла или детали, то подробно дается описание конструкции применяемых ремонтных приспособлений, их силовой расчет, технология существующего и предлагаемого ремонта. Здесь же делается расчет времени ремонта по существующей и предлагаемой технологии.
- В основной части работы студент по своему выбору или рекомендации руководителя описывает систему технического обслуживания и ремонта горных машин или технологию изготовления детали. Если в разделе разрабатывается система технического обслуживания и ремонта машин, то рассматривается организация технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятия. Для плановой системы ремонтов рассчитываются графики технического обслуживания (ТО) технологического оборудования и планово-предупредительных ремонтов. Разрабатывается технология восстановления типовой детали.

Основой разработки технологического процесса является рабочий чертеж детали и сборочный чертеж узла, где данная деталь располагается, с указанными техническими требованиями.

Структура раздела включает в себя следующие подразделы:

- определение типа производства и величины партии деталей;
- анализ технологичности конструкции детали при её изготовлении или технического состояния при её восстановлении;
- выбор вида заготовки и способа ее получения или восстановления, разработка чертежа заготовки;
- выбор методов и последовательности обработки каждой поверхности детали (составление технологического маршрута);
- уточнение технологических баз и схем установки заготовки (базирование и закрепление);
- формирование технологических операций и уточнение содержания технологических переходов. Составление карт технологического процесса;
- размерный анализ спроектированного технологического процесса;
- расчет припусков на обработку, промежуточных технологических размеров, размеров заготовки и значений допусков на эти параметры;

- выбор оборудования;
- выбор режущего инструмента, выбор и расчет режимов обработки;
- выбор методов и средств технического контроля параметров детали;
- нормирование технологических переходов, операций;
- проектирование средств технологического оснащения, технологической оснастки;
- выводы;
- технологическая документация (приводится в приложении).

4.10. Экономико-техническое обоснование

В экономической части работы студентам предлагается осветить вопросы, касающиеся экономической целесообразности, экономической эффективности и конкурентоспособности разрабатываемого объекта, машины или процесса.

При выполнении ВКР важен вопрос экономической составляющей выполняемых работ. В рамках составления технико-экономического обоснования студенту предлагается выполнить следующие расчеты:

- оценить величину заработной платы и социальных отчислений участников работы;
- оценить затраты, связанные с приобретением необходимого сырья, материалов, комплектующих, полуфабрикатов;
- оценить затраты, связанные с оказанными сторонними организациями услугами;
- оценить затраты, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования используемого при разработке устройства;
- определить величину амортизационных отчислений используемых основных средств;
- оценить накладные расходы;
- рассчитать совокупную величину затрат, связанных с изготовлением изделия.

Для расчета затрат необходимо определить продолжительность каждой работы. Продолжительность работ определяется либо по нормативам (с использованием специальных справочников), либо по факту, либо расчетным путем.

Для расчета затрат продолжительность работ была определена по факту, то есть учитывалось время, фактически затраченное исполнителями на выполнение каждого этапа и работы, результаты представлены в таблице.

Расчеты должны быть основаны на действующих в Российской Федерации налогах и сборах, актуальных нормативах отчислений и стоимости материалов, работ, услуг.

4.11. Охрана труда и окружающей среды

В этом разделе рассматриваются вопросы безопасности, органично связанные с технологическими решениями, принятыми в основной части работы, приводится перечень требований к технике безопасности при работе с изделием (механизмом, устройством и т. п.) либо на изделии (на станке и т. д.);

Анализ безопасности и экологичности в процессе разработки, изготовления или эксплуатации (в соответствии с требованием ТЗ);

Раздел по безопасности и экологичности работы должен содержать соответствующий анализ применительно к производству или эксплуатации разрабатываемого узла, устройства, технологической машины или технологического процесса.

Кроме того, рассматриваются вопросы, связанные с созданием комфортных условий на рабочих местах, с разработкой технических решений по борьбе с вредными производственными факторами, имеющими место при работе машин (пыль, газ, шум, вибрация и др.).

В разделе рассматривается влияние проектных решений на загрязнение окружающей среды

4.12. Заключение

В заключении подводятся итоги работы, решения поставленных в ней задач и обобщаются полученные результаты. Рассматриваются направления и пути дальнейшего развития темы. Здесь же отмечается практическая ценность работы, область ее настоящего (или возможного) использования

Заключение должно основываться на итоговом качественном сравнении разработанного объекта с уже имеющимися образцами (при наличии таковых) либо на окончательном анализе эффективности внедрения спроектированного объекта.

.

4.13. Список используемых источников

Все заимствованные из литературы положения и фактические данные должны снабжаться ссылками на источник информации, полный перечень которых приводится в виде списка используемых источников.

Источники в списке располагают и нумеруют арабскими цифрами в порядке их упоминания в тексте пояснительной записки либо по алфавиту. Номер ссылки приводится в квадратных скобках.

Сведения об источниках приводят в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Библиографический список должен содержать, как правило, не менее – 20 наименований.

Библиографический список должен включать использованную в ВКР актуальную учебную литературу, в том числе из электронных и открытых источников, и содержать не менее 20% наименований нормативной документации.

4.14. Приложения

В приложения выносятся: техническая и технологическая документация, графический материал большого формата, таблицы большого формата, описания алгоритмов и программ, задач, решаемых на ЭВМ, акты внедрения и т. д.

Приложения размещают как продолжение пояснительной записки на последующих страницах и включают в общую с запиской сквозную нумерацию страниц.

Приложения обозначают в порядке ссылок на них в тексте арабскими цифрами. При наличии только одного приложения, оно обозначается «Приложение ».

Каждое приложение должно начинаться с нового листа и иметь тематический заголовок и обозначение.

В тексте ВКР на все приложения должны быть даны ссылки.
Все приложения должны быть перечислены в оглавлении.

5. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Графическая часть данного раздела должна содержать основные результаты работы. Состав и содержание графического материала определяются вместе с руководителем в зависимости от характера разрабатываемой перечень графического материала:

- компоновочно-кинематическая схема, сборочный чертеж или чертеж общего вида нового узла;
- компоновочно-кинематическая схема, общий вид модернизированного узла, сборочный чертеж модернизированного узла;
- иллюстрации технологического процесса изготовления или восстановления детали;
- рабочий чертеж детали,
- иллюстрации технологического процесса повышения износостойкости детали;
- общий вид и сборочный чертеж технологической оснастки.

На чертежах должны быть даны все сечения и разрезы, по возможности, более полно отражающие все особенности конструкции, сформулированы технические условия, обеспечивающие необходимую точность сборки и правильную работу конструкции в целом.

Общий объем графической части, включая вид машины с расположением механизмов, должен быть в пределах см. п. 4.4.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

6.1. Пояснительная записка

Реферат оформляется по ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) и размещается на отдельной странице. Заголовком служит слово «Реферат»,

расположенное симметрично тексту (прил. 4).

Желательно выполнение пояснительной записки с применением текстового редактора Microsoft Word.

Рекомендуется использовать:

- гарнитура шрифта – Times New Roman;
- размер шрифта – 14;
- межстрочный интервал текста – 1,5;
- выравнивание текста – по ширине.
- размеры полей: левое – 30 мм, правое, верхнее и нижнее – 20 мм;
- абзацный отступ – 1,25 мм.

Текст ВКР выполняет с использованием ПЭВМ на одной стороне листа белой бумаги формата А4, шрифт черного цвета. Пояснительная записка должна быть сшита (переплетена) и иметь обложку.

Номер страницы проставляют в середине верхнего поля листа. Страницы текстового материала следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Титульный лист текстового документа включается в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляется.

6.2. Графический материал

Графический материал, представленный в виде чертежей, эскизов и схем, характеризующих основные выводы и предложения исполнителя, должен раскрывать и дополнять содержание пояснительной записки.

Состав и объем графического материала определяется заданием на ВКР.

Графический материал, предназначенный для демонстрации при публичной защите работы, оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД.

Оформление чертежей деталей и сборочных чертежей должно соответствовать требованиям стандартов ЕСКД.

На сборочных чертежах должны быть указаны:

- габаритные размеры изделия;
- установочные и присоединительные размеры сборочной единицы (прибора, блока, узла и т. п.);
- посадки.

При этом должны быть указаны:

- технические требования, предъявляемые к сборке изделия;
- номера позиций, указанные в спецификации сборочной единицы;
- шифр документации ВКРБ …. ПЗ ВО СБ …

Готовые чертежи подписываются автором и научным руководителем и утверждаются заведующим кафедрой.

6.3. Спецификация изделия

Спецификация определяет состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и необходима для его изготовления, комплектования конструкторских документов и планирования запуска в производство указанных изделий. Спецификация должна состоять из следующих разделов:

- документация;
- комплексы;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Заполнение разделов спецификации - по ГОСТ 2.106.

6.4. Правила оформления технологических документов

Технологические документы, разрабатываемые в процессе ВКР, оформляются в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД.

К технологическим документам, подлежащим разработке, относятся:

- титульный лист, оформленный в соответствии с прил. 9;
- маршрутная карта - по ГОСТ 3.1404;
- операционные карты механической обработки - по ГОСТ 3.1404;
- карты технологического процесса на изготовление или восстановление деталей;

- карты эскизов - по ГОСТ 3.1105;
- операционные карты технического контроля - по ГОСТ 3.1105;
- другие виды технологических документов (ГОСТ 3.1102-81).

Технологические документы, размещают в приложении и оформляют в виде самостоятельного документа на основе соответствующего стандарта.

6.5. Оформление демонстрационного материала

Демонстрационный материал оформляется в виде плакатов, либо в формате электронной презентации.

Демонстрационный материал оформляется в виде плакатов, выполненных карандашом либо с применением графических печатающих устройств. Плакаты выполняются на листах форматов А1-А2.

Электронная презентация оформляется в форматах ppt, jpg, pdf, с отношением сторон 4х3 и графическим разрешением иллюстраций не менее 200 dpi.

Демонстрационный плакат или лист электронной презентации материала должен содержать:

- заголовок;
- необходимые изображения и надписи (рисунки, схемы и т. д.);
- пояснительный текст (при необходимости).

При оформлении демонстрационного материала допускается применение цветных изображений и надписей. Принятые цифровые и цветовые обозначения должны быть расшифрованы.

Нужно согласовать с п. 8.2.

7. ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

7.1. Подготовка выпускной квалификационной работы к защите

Законченная и оформленная пояснительная записка, и листы графических материалов, подписанные студентом, передаются руководителю на проверку и написания отзыва на ВКР.

Руководитель подтверждает результаты проверки подписью на ти-

тульном листке и готовит отзыв.

Студент должен быть ознакомлен с отзывом руководителя.

Для получения допуска к защите переплетенная пояснительная записка вместе с чертежами передается заведующему кафедрой. Заведующий кафедрой на основании рассмотрения степени соответствия работы требованиям, предъявляемым к ВКР, и письменного отзыва руководителя принимает решение о допуске работы к защите (либо ее отклонении), ставит подпись на титульном листе пояснительной записки.

Студент, не представивший без уважительной причины руководителю в установленный срок ВКР или не явившийся на защиту без уважительной причины, отчисляется из университета за невыполнение учебного плана.

7.2. Проверка на плагиат

ВКРб подлежит обязательной проверке на плагиат. Результаты проверки оформляются актом.

Значение слова «плагиат» интерпретируется как присвоение себе чужого результата творческой деятельности, которым может выступать и изобретение, и произведение, и научная работа, и даже идея. Плагиат это заимствования фрагментов из других текстов (произведений) без указания ссылки на автора и заключения чужих материалов в кавычки или иное графическое и синтаксическое выделение.

Чтобы быть допущенным к защите и успешно защитить свою работу, проверьте её перед этим. Для этого следует по приглашению руководителя, высланного на электронную почту студента, посетить сайт AntiPlagiat.ru, разместить файл с ВКР, затем скачать отчет, заполнить акт (приложение 6) и сдать научному руководителю.

Процент уникальности работы не должен быть ниже отметки в 65 % - при таком уровне можно соблюсти как оригинальную подачу текста, так и выполнить требования к оформлению.

7.3. Предварительная защита

Завершенная выпускная работа представляется на выпускающую кафедру для предварительной защиты. Руководитель представляет на кафедру письменный отзыв. По результатам этой защиты студент допускается к защите на государственную аттестационную комиссию (ГАК).

7.4. Необходимые документы

Документы, необходимые для защиты ВКРБ:

- Переплетенная пояснительная записка с бланком задания;
- отзыв руководителя;
- акт проверки на антиплагиат;
- графическая часть;
- презентация.

Все перечисленные документы сдаются на кафедру на бумажном носителе и в электронном виде (формат pdf).

В ГАК могут быть переданы также и другие материалы, характеризующие научную и практическую ценность выполненной ВКР: печатные статьи студента по теме, патенты, документы, свидетельствующие о практическом применении результатов ВКР, макеты и образцы изделий и т. п.

Рецензия на выпускную работу бакалавра не требуется.

ВКР со всеми подписями, отзывами сдается секретарю ГАК за 3 дня до установленного срока (даты) защиты.

7.4. Защита выпускной квалификационной работы

Защита ВКР проводится в установленное время на открытом заседании ГАК, на котором желательно присутствие руководителя ВКР, а также могут присутствовать профессорско-преподавательский состав кафедры, студенты и другие заинтересованные лица.

На защиту ВКР бакалавра отводится **20 минут**. Установлен следующий ориентировочный порядок защиты.

1. Приглашение выпускника на заседание комиссии - **1 минута.**
2. Объявление защиты с указанием ФИО выпускника и темы ВКР (председатель комиссии) - **1 минута**.
3. Доклад выпускника - **10 минут**.

4. Ответы выпускника на вопросы членов комиссии - **7 минут**.
5. Оглашение отзыва руководителя ВКР - **1 минута**.

8. ДОКЛАД И ПРЕЗЕНТАЦИЯ

8.1. Доклад

Доклад по результатам ВКРб является публичным выступлением перед членами ГАК и присутствующими на открытой защите. Содержание доклада должно быть логичным, последовательным и связанным с представленными наглядными графическими материалами.

Объем доклада должен быть рассчитан не более чем на пять минут выступления, что составляет около четырех страниц стандартного печатного текста.

В докладе должны найти отражение:

• название темы работы, представленной к защите

• цель и задачи исследования;

• актуальность и практическая ценность;

• основная идея работы и наиболее важные выводы с кратким обоснованием.

По структуре доклад можно разделить на три части. Каждая часть представляет собой самостоятельный смысловой блок, хотя в целом они логически взаимосвязаны и отражают содержание проведенного исследования.

В начале доклада студент должен представить работу: «Уважаемый председатель! Уважаемые члены государственной экзаменационной комиссии! Вашему вниманию представляются результаты ВКР на тему: «...».

Первая часть доклада опирается на введение и первую главу ВКР. В этой части характеризуется актуальность выбранной темы и, на основе проведенного анализа предметной области, формулируется цель и задачи исследования.

Вторая, самая большая по объему часть, раскрывает суть основного раздела работы, выносимой на защиту.

В третьей части отмечается экономические результаты, полученные в работе вопросы охраны труда и окружающей среды.

Заключительная часть, может начинаться следующим образом: «В заключение можно сделать следующие выводы 1) ..., 2) ..., 3) ...и т. д.». Таким образом, соискатель, не повторяя частные обобщения, сде-

ланные ранее во время доклада, останавливает свое внимание на принципиальных отличиях полученных им результатов от тех, которые уже известны.

Кроме этого, в заключительной части доклада следует отметить практическую значимость результатов ВКР: «Практическая значимость работы заключается в...», а также апробацию работы (при наличии): «Основные результаты работы доложены... используются... рекомендованы...».

Доклад заканчивается словами: «Доклад окончен. Спасибо за внимание».

8.2. Презентация

Презентация состоит из основных результатов работы, графиков, таблиц, чертежей в зависимости от тематики работы представленных на плакатах (формат А1) или в виде слайдов с использованием компьютерного сопровождения доклада в режиме презентации.

Графическая часть должна содержать 4 - 6 листов чертежей или плакатов формата А1.

Все чертежи (к плакатам это не относится) выполняются в соответствии со стандартами ЕСКД. Технологическая документация требует соблюдения стандартов ЕСТД и приводится в приложении. Готовые чертежи подписываются автором и научным руководителем и утверждаются заведующим кафедрой.

Допускается проведение защиты в форме компьютерной презентации с представлением комплектов графических материалов в формате А4 на бумажном носителе, оформленных в соответствие с требованиями ГОСТ. При этом число комплектов должно соответствовать количеству членов комиссии.

Ответы выпускника на вопросы членов комиссии - **7 минут**.

Члены ГАК имеют право задавать вопросы, связанные, как непосредственно с темой ВКР, так и с проверкой уровня усвоения выпускником учебного и практического материала по естественнонаучным, общепрофессиональным и специальным дисциплинам.

На вопросы следует давать четкие и краткие ответы, строго по содержанию вопроса.

Оглашение отзыва руководителя ВКР - **1 минута**.

8.3. Оценка результата защиты ВКР

Государственная экзаменационная комиссия формулирует комплексную оценку уровня подготовки выпускников и соответствия их подготовки требованиям ФГОС ВО; выносит решение об оценке выпускной квалификационной работы («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»); дает рекомендации по продолжению обучения в магистратуре; рекомендует выпускную квалификационную работу к внедрению и публикации результатов исследования.

Итоговая оценка выводится как среднеарифметическое оценок, за уровень доклада и степень раскрытия темы, за полноту ответов на вопросы, оценку руководителя ВКР бакалавра.

Результат защиты ВКР и решение о присвоении квалификации выпускнику оформляются в зачетную книжку. Результаты зашиты ВКР объявляются выпускникам в тот же день, после оформления протоколов.

Выпускник, не защитивший выпускную квалификационную работу (получивший на защите оценку «неудовлетворительно»), может быть допущен к защите повторно не ранее, чем через год. ГАК решает, может ли студент представить к повторной защите ту же работу с доработкой, определяемой комиссией, или же обязан выполнить работу по новой теме. Повторная защита допускается один раз.

Выпускнику, не прошедшему защиту ВКР по уважительной причине (по медицинским показаниям или в других исключительных случаях, документально подтвержденных), предоставляется возможность пройти защиту без отчисления из университета.

Выпускник, не прошедший защиту ВКР, отчисляется из университета и получает по личному заявлению академическую справку о неполном высшем образовании. Повторная защита ВКР назначается при восстановлении в университете.

8.4. Типичные ошибки при подготовке и оформлении работы

К наиболее типичным ошибкам при подготовке и оформлении ра-

боты следует отнести:

-цель и задачи не обоснованы критическим анализом литературы;

-на приводятся принятые при исследованиях допущения;

-отсутствуют данные по оценке достоверности полученных результатов наблюдений;

-отсутствуют или поверхностны выводы по отдельным главам диссертации;

-общие выводы не соответствуют поставленным цели и задачам работы;

-нарушается нумерация страниц, рисунков и таблиц;

-не всегда делаются ссылки на источники, из которых взята информация;

-отсутствуют ссылки на публикации автора работы;

-нет ссылок на Приложения;

-небрежное оформление (грамматические и стилистические ошибки.

Значительное количество недостатков и ошибок можно избежать, придерживаясь требований и рекомендаций, изложенных в предлагаемом пособии. Содержание пособия поможет магистранту ориентироваться в значительном числе вопросов, которые могут возникнуть в процессе подготовки, оформления и защиты диссертации, и позволит в должной мере реализовать свои знания и творческие возможности.

Приложение 1

Пример оформления титульного листа на выполнение ВКРБ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример оформления титульного листа на выполнение ВКРБ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Кафедра Эксплуатации горного оборудования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

по специальности 15.03.01 – «Машиностроение»
профиль Производство и реновация машин и оборудования
на тему_____

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Заведующий кафедрой ЭГО _____ к.т.н. Д. И. Симисинов

Руководитель работы_____

Студент гр. МШС – _____

Екатеринбург 2018

Приложение 2

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Кафедра эксплуатации горного оборудования

Факультет горно-механический
Специальность 15.03.01 «Машиностроение»
Профиль «Производство и реновация машин и оборудования»

«Утверждаю»
заведующий кафедрой ЭГО
_____Д. И. Симисинов
«____» _____20___г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу (ВКР) бакалавра

Студенту_____
(фамилия, имя, отчество полностью)

Тема ВКР: _____
_____
_____
_____

2. Срок сдачи студентом ВКР бакалавра «____»_____20___г.

3. Исходные данные _____
_____
_____
_____

4. Содержание пояснительной записки:
1) **Введение**: объект разработки; область его применения; исходные данные (источник информации); актуальность темы ВКР; цель и конкретные задачи работы, пути и методы решения задач
2) **Общая часть**
2.1) Литературно-аналитический обзор _____
_____
2.2) Специальный раздел _____
_____
_____
_____
_____
2.3) Техника безопасности _____
2.4) Экономическо-техническое обоснование _____
_____

_____

3) **Заключение**: в краткой форме излагаются полученные результаты

5. Графические материалы:_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. Ф.И.О. руководителя ВКР_____

Ученая степень _____ ученое звание _____

7. График выполнения ВКР бакалавра

Наименование раздела	Срок выполнения
Литературно-аналитический обзор	
Специальный раздел	
Техника безопасности	
Экономическо-техническое обоснование	

Дата выдачи задания «_____»_____20_____г.

Руководитель ВКР бакалавра _____

(подпись)

Задание по ВКР бакалавр получил _____

(подпись)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах, один из которых хранится на кафедре, другой – выдается студенту и подшивается к пояснительной записке

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах, один из которых хранится на кафедре, другой – выдается студенту и подшивается к пояснительной записке

Приложение 3

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 65 с., 22 рисунка,
5 таблиц, 23 источника, 3 приложения, 5 л. графич. материала.

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНЫЕ ПИЛЫ, ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЗАТОЧКИ ПИЛ, ОБОРУДОВАНИЕ, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ РАСЧЕТЫ

Объектом исследования является оборудование для заточки ленточных пил.

Цель работы - разработка станка для заточки ленточных пил.

В процессе работы проведены теоретические исследования существующих конструкций заточных станков, сделан сравнительный анализ их достоинств и недостатков.

В результате исследования предложены оптимальные параметры проектируемого оборудования, разработана компоновочно-кинематическая схема, проведены кинематический и силовой расчеты приводов станка.

Эффективность спроектированного оборудования определяется высокой производительностью на основе полной автоматизации заточки ленточных пил и быстрой переналадки на другой профиль зуба пилы.

Приложение 4

ОБРАЗЕЦ ЗАЯВКИ РУКОВОДИТЕЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ НА РАЗРАБОТКУ КОНКРЕТНОЙ ТЕМЫ ВКР

Фирменный бланк организации
с указанием номера и даты
исходящего документа

Ректору СТИУ
доктору экон. наук профессору
Авакову С.Ю.

ООО «Ридан», (347900, Ростовская область, г.Таганрог, ул. Чехова, 112, тел. _____, факс _____) просит Вас направить в нашу организацию студента группы М-12 Иванова Ивана Ивановича для прохождения преддипломной практики и разработки выпускной квалификационной работы на тему «Направления совершенствования производительности труда на предприятии».
Руководителем практики от организации назначается заместитель директора Петрова Марина Павловна.

Директор В.М. Сидоров

Печать

Приложение 5

Образец оформления первой страницы раздела основной части

СОДЕРЖАНИЕ

1. Анализ технического состояния детали
2. Анализ дефектов и оценка пригодности детали
   2.1. Дефект №1
   2.2. Дефект №2
   2.3. Дефект №3
3. Выбор рациональных способов восстановления детали
   3.1. Выбор по технологическому критерию
   3.2. Выбор по техническому критерию
   3.3. Выбор по технико-экономическому критерию
   3.4. Окончательный выбор способа восстановления детали
4. Разработка технологического маршрута восстановления детали
5. Расчет припусков
6. Выбор оборудования, приспособлений, инструмента
   6.1. Выбор оборудования
   6.2. Выбор приспособлений
   6.3. Выбор инструмента
7. Расчет режимов обработки
   7.1. Предварительная механическая обработка
   7.2. Электрохимическое хромирование
   7.3. Механическая обработка
8. Нормирование операций
   8.1. Токарная обработка
   8.2. Наплавочная
   8.3. Токарная обработка
   8.4. Фрезерная обработка
9. Технологическая документация
10. Литература

					ВКРБ МШС 012 025 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработал		Пушкин В.Л.			Разработка технологического процесса восстановления вала	Лит.	Лист	Листов
Руководитель		Зверев Р.Г.					2	36
Консультант		Волков А.С.				УГГУ гр. МШС –12		
Н. Контр.		Схиртладзе П.В.						
Утвердил		Симисинов Д.И.						

Приложение 6

Пример оформления последующих листов пояснительной записки

1. Анализ технического состояния детали

Заданная деталь представляет собой вал-шестерню.

					ВКРБ МШС 012 025 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№документа	Подпись	Дата		

Приложение 7
Утверждаю
Зав. кафедрой ЭГО
_____
«___»_____201__ г.

АКТ

проверки материалов ВКРб на обнаружения заимствований в работе

_____ на тему _____
фамилия и. о. студента бля наименование работы
нашел!:)

При проверке ВКРб на предмет заимствований, проведенной в системе AntiPlagiat.ru с аккаунтом _____, значение итоговой оценки
имя аккаунта
оригинальности текста диссертации составляет XX,X %.

По результатам физического сличения соответствующих текстов работы и выявленных источников заимствований, представленных в форме их первоначального опубликования, установлено, что установленные проверкой факты заимствования относятся к случаям:

- упоминания в тексте ВКРб определений различных понятий, являющихся в соответствующих отраслях наук обще употребляемыми, названий нормативных правовых актов и официальных документов, наименований государственных и иных официальных органов, и организаций, в том числе их официально установленных статусов и т. д. _____ %; -убрать? Все равно не посчитать!
- цитирования или использования автором в тексте ВКРб текстов нормативных правовых актов или официальных документов _____ %;
- цитирования автором в тексте ВКРб собственных работ, выполненных ранее, в том числе в соавторстве, работ иных исследователей с указанием источников заимствования _____ %.

Приложение: Сгенерированный системой отчет о результатах проверки документа.

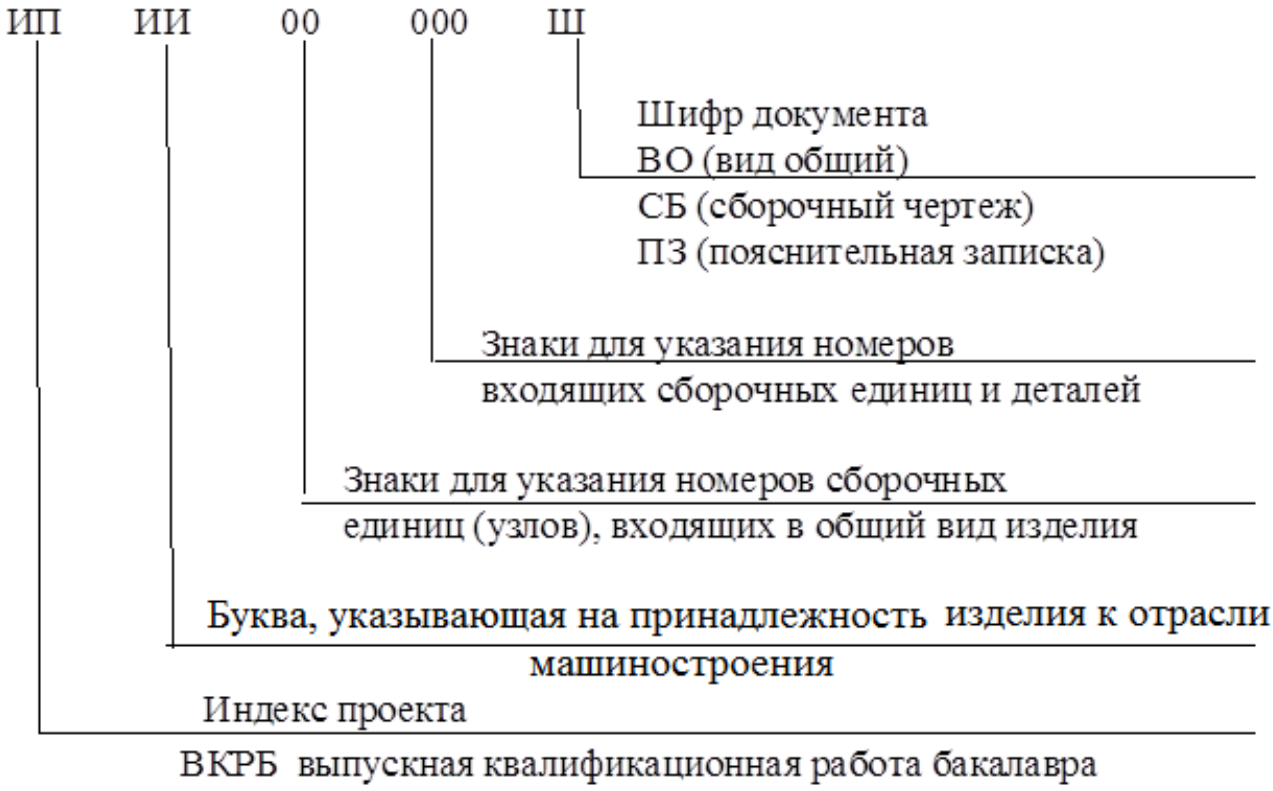
Дата проведения проверки «___»_____201__ г.

Студент _____ _____
подпись фамилия и. о.

Научный руководитель,
доцент к. т. н. _____ _____
подпись фамилия и. о.

Приложение 8

Схема обозначения листов в ВКР



Пример:

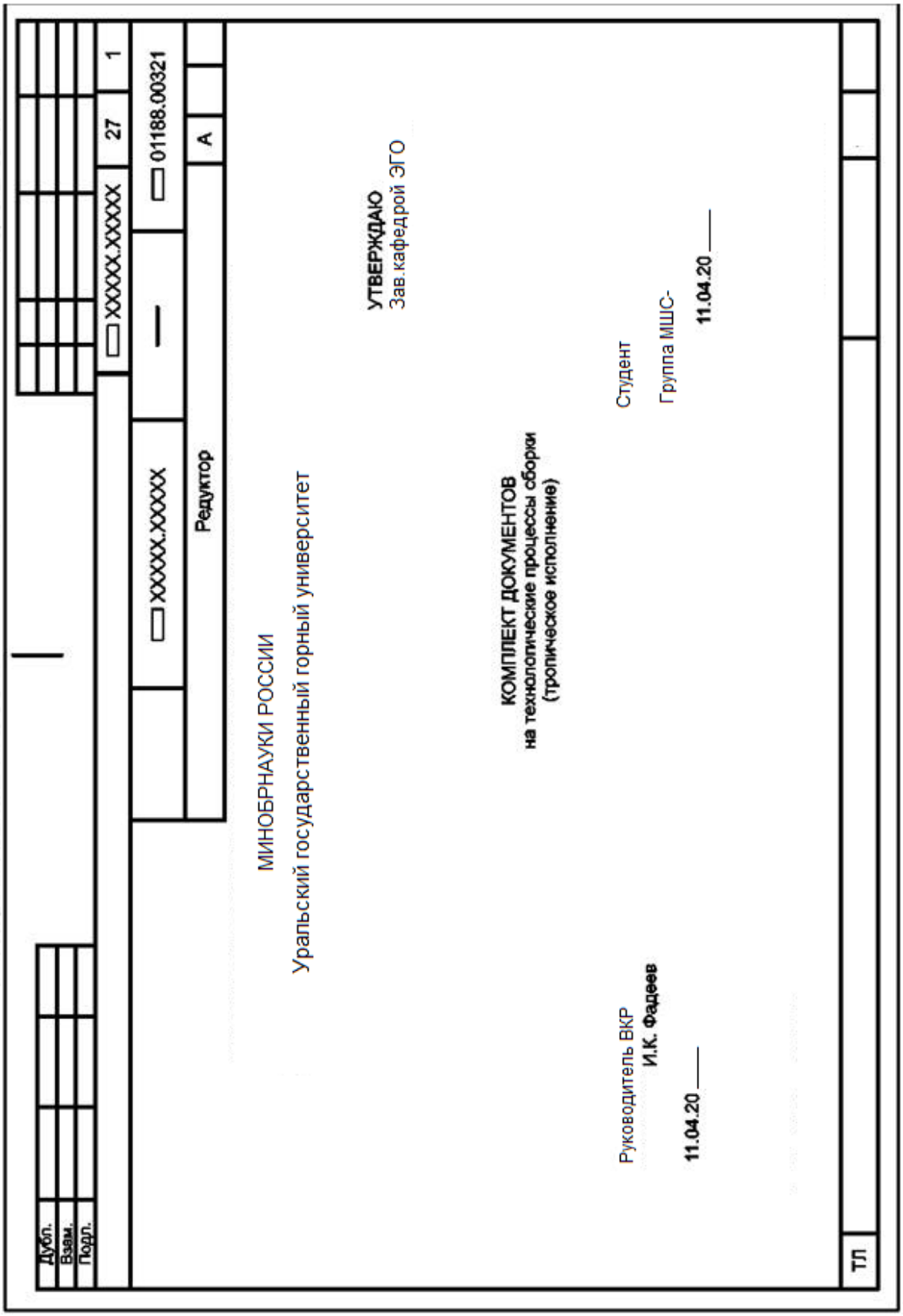
ВКРБ ЭО 00 000 СБ

ВКРБ выпускная квалификационная работа бакалавра
ЭО – Экскаваторы одноковшовые универсальные
СБ - Сборочный чертеж

А МШС откуда на предыдущей с.?

Приложение 9

Титульный лист технологической документации



Приложение 9

Вопросы для самоподготовки к защите квалификационных работ

1. Принцип работы узла, машины.
2. Ваш вклад в рассматриваемой работе.
3. Что нового в организации ремонта?
4. Что является основанием для проведения ремонта?
5. Маркировка сталей и других конструкционных материалов.
6. Обозначение и расшифровка полей допусков и посадок.
7. Шероховатость *Rz, Ra* – в чем отличие.
8. Маркировка смазок, их свойства и их применимость - индекс вязкости.
9. Виды сварок назначение обмазки и флюса, их состав.
10. Обоснование рода тока при сварке и наплавке.
11. Обоснование выбора способа сварки, наплавки.
12. Системы ремонта их обоснование и выбор
13. Методы ремонта и их применимость
14. Обозначение твердости материала по Роквеллу и Бриннелю.
15. Виды термообработки и их назначение.
16. Предел выносливости.
17. Как определяется остаточный ресурс машины (детали)?
18. Что является основанием для текущего или капитального ремонтов?
19. Как и когда испытываются стропы?
20. Каким образом обосновывается эффективность внедрения новой техники?
21. Техника безопасности при обслуживании машины, рассматриваемой в проекте.
22. Обоснование выбора инструмента для резания металлов.
23. Обоснование выбора способа восстановления деталей машин.
24. Какие показатели надежности определены и улучшены в работе?
25. Какие виды термообработки механической обработки и упрочнения деталей применены в работе?
26. Как изменяется продолжительность ремонтных циклов с увеличением времени работы машины?
27. Как изменяется себестоимость капитального ремонта с увеличением срока службы машины?
28. Какие организационно-технические мероприятия необходимы для перехода от системы ППР к системе ремонта по фактическому состоянию?
29. Какие показатели эффективности ремонта наиболее полно отображает заинтересованность ремонтного персонала в повышение качества ремонта?
30. Для какой стадии эксплуатации машины устанавливают гарантийный срок службы, и какие данные необходимы для его определения?
31. Чем отличается технологический регламент эксплуатации машины с истекшим сроком службы от машины с неистекшим сроком службы?

32. Каким документом регламентируются ремонтные работы на опасных объектах технологического оборудования?
33. Какие сведения содержит ремонтный чертеж?
34. Как определены предельно допустимые размеры по износу ремонтируемой детали?
35. Какова кратность и периодичность применения ремонтируемой (изготавливаемой) детали и каков их расход за ремонтный цикл и за срок службы?
36. Каким способом подтверждено соответствие ресурса детали периодичности ремонтов в графике ППР?
37. Как изменяется периодичность ремонтов и фактический ресурс деталей с увеличением числа ремонтов?
38. В чем состоят недостатки оценки эффективности ремонтов по их абсолютной стоимости?
39. На какие физико-механические свойства металла восстанавливаемой (изготавливаемой) детали влияет каждый элемент маркировки?
40. К каким изменениям технологичности и ремонтопригодности приведет переход на другой способ получения заготовки?
41. Какие показатели ремонтопригодности улучшены в работе?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев В. Т., Боярских Г. А.* Проектирование технологических процессов восстановления деталей и ремонтных баз горных предприятий: (Учебное пособие) - 2-е изд., стереотипное - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001 - 140 с.

2. *Глинникова Т. П., Волегов С. А*. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНЫХ МАШИН Часть.1. Технологическая часть ВКРИ справочно-методическое пособие по выполнению технологической части КП и ВКРИ для студентов специальности 150402 - «Горные машины и оборудование» направления 150400 - «Технологические машины и оборудование» очного и заочного обучения Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005 - 80 с.

3. *Симисинов Д. И., Куклин Л. Г.* ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНЫХ МАШИН. Часть 2: Справочно-методическое пособие по выполнению технологической части курсового проекта, ВКРИ и самостоятельной работы для студентов специальности 150402 - «Горные машины и оборудование» (ГМО) направления 150400 - «Технологические машины и оборудование» очное и заочное обучения. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 24 с.

4. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА, ИНЖЕНЕРА И КУРСОВОГО ПРОЕКТА: справочно-методическое пособие./ Т. П. Глинникова, С. А. Волегов. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008 – 54 с.

5. *Хазин М. Л., Волегов С. А.* ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН: учебное пособие по курсовой работе Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 80 с.

6. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ. Часть 1: Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов» для студентов специальности 150402 - «Горные машины и оборудование» и направления (ГМО) 150400 - «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 112 с.

8. *Глинникова Т. П., Волегов С. А.* ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ. Часть 2: Пособие по выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Технология кон-

струкционных материалов» для студентов специальности 150402 - «Горные машины и оборудование» и направления (ГМО) 150400 - «Технологические машины и оборудование» для студентов очного и заочного обучения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 72 с.

10. ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76). Система стандартов по информации библиотечному и издательскому делу (реферат и аннотация). Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 6 с.

Симисинов Д.И., Боярских Г.А. Технология машиностроения. Учебное пособие. Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 326 с.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Методические указания
по подготовке выпускной квалификационной работы бакалавров, обучающихся
по направлению 15.03.01 «Машиностроение»
«Производство и реновация машин и оборудования»

Учебное пособие

Редактор В. В. Баклаева

Компьютерная верстка авторов
Подписано в печать Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16
Печать на ризографе. Печ. л. . Уч.-изд. Тираж 100. Заказ

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ